



Inês Rodrigues Cancela

Licenciada em Ciências de Engenharia do Ambiente

**Prevenção de Poluição de Águas:
Estabelecimento de Valores de Atuação
para Descarga de Águas Pluviais a
partir de um Sistema de Monitorização
Instalado numa Unidade Farmacêutica**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia do Ambiente, perfil de Engenharia Sanitária

Orientador: Prof. Doutor Pedro Manuel da Hora Santos
Coelho, Prof. Auxiliar, FCT/NOVA

Co-orientador: Eng.^a Ana Cristina Ferreira Rafael,
Unidade Farmacêutica

Júri:

Presidente: Prof.^a Doutora Leonor Amaral

Arguente: Engenheiro João Rodrigues

Vogais: Prof. Doutor Pedro Coelho



FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

Fevereiro, 2021

Prevenção da Poluição de Águas: Estabelecimento de Valores de Atuação para Descarga de Águas Pluviais a partir de um Sistema de Monitorização Instalado Numa Unidade Farmacêutica

© Copyright em nome de Inês Rodrigues Cancela, da FCT e da UNL, 2021.

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

Agradecimentos

A toda a equipa da Unidade Farmacêutica onde decorreu o estágio sobre o qual foi desenvolvida a dissertação que, mesmo tendo ocorrido num período muito atípico devido à situação de pandemia, de tudo fizeram para que tal não prejudicasse o meu trabalho. À Eng.^a Ana Rafael, por toda a sábia orientação, experiência e disponibilidade e atenção prestadas ao longo da execução da dissertação. À Eng.^a Marília Barata, pela pronta ajuda e disponibilidade mostrada ao longo dos meses. Aos Engenheiros João Pina, Pedro Silva e João Rodrigues, pela transmissão de ensinamentos e ajuda prestada.

Ao meu orientador, o Professor Doutor Pedro Coelho, por toda a sua disponibilidade, compreensão e sábios conselhos, ao longo deste percurso. Pelas palavras de motivação e apoio, fulcrais para o desenvolver desta dissertação.

À minha Tuna, pelas experiências incríveis. Por me ter ensinado a trabalhar em grupo, a geri-lo, a saber tomar as minhas responsabilidades, a organizar e priorizar a minha vida. Por me ter dado a conhecer lugares fantásticos e pessoas incríveis que, sem elas, toda a minha vida académica teria sido completamente diferente. E, principalmente, por me ter dado a oportunidade de viver e experienciar a evolução completamente extraordinária que a TunaMaria teve ao longo destes meus anos académicos.

Aos meus amigos. E que sorte eu tenho pelas pessoas incríveis com que me rodeiam.

À Catarina, a amiga desde o primeiríssimo dia na FCT-NOVA e, desde aí, inseparáveis. À Adriana e à Sónia. E às crises sanitárias!

Aos meus amigos do secundário, Catarina, Inês e Luís, cuja amizade se manteve intacta ao longo dos anos, apesar das nossas vidas terem seguido rumos completamente diferentes.

Às minhas pessoas da TunaMaria pelos momentos de lazer e descontração pós ensaios e pós trabalhos. Por serem as pessoas engraçadas e contagiantes que são! À Sarah e à Maria.

À Telma (por todas as vírgulas antes do “e”), Catarina e Ângelo, por terem sido como uma família na vida solitária que às vezes é aquela de morar longe de Casa.

À Patrícia, a minha “driving force”, que sempre acreditou em mim, apoiou e motivou, mesmo em tempos mais infelizes. Um verdadeiro exemplo de pura amizade.

Por fim, à minha família, aos meus pais e irmã, que sempre me deram palavras de motivação e nem quando as coisas corriam “menos bem” deixaram de me apoiar e acreditar em mim. Ao Vasco, pela oportunidade. À Joana, que mesmo não sendo da família, desde crianças sempre agimos como se de tal tratasse. E à avó Lurdes que, nunca compreendendo concretamente o trabalho que fazíamos, sempre viu as coisas que os seus netos faziam, como sendo as melhores e maiores do mundo!

Resumo

A indústria farmacêutica é pautada pelo rigor e qualidade que desde sempre lhe são exigidas, não só durante o processo de fabricação, como durante toda a fase de tratamento de resíduos perigosos e de emissões, produzidos dentro das instalações farmacêuticas.

As instalações deste tipo de indústria, para além da necessidade de tratamento das águas residuais industriais, necessitam também de promover uma boa gestão das águas pluviais que escoam pela área da unidade industrial, de modo a evitar a contaminação e poluição das massas de água, para as quais estas águas pluviais são lançadas.

O risco de poluição das águas pluviais surge em situações de incidentes de derrame de substâncias químicas ou outros produtos, habitualmente manuseados em indústrias. Na impossibilidade de os controlar, os produtos derramados no solo entram em contacto com a água pluvial, que não é infiltrada nos solos e se escoia através das superfícies com um elevado índice de impermeabilização.

A descarga destas águas pluviais contaminadas pode ter um efeito cumulativo nos solos e no meio hídrico, resultando na degradação da qualidade destes meios. É, por isso, um risco que prejudica os ecossistemas, as pessoas, e a própria indústria envolvida.

A Unidade Farmacêutica em estudo pretende garantir que todas as suas emissões para o meio ambiente são devidamente monitorizadas e controladas, sendo o principal objetivo deste estudo, caracterizar as águas pluviais recolhidas no perímetro da Unidade Farmacêutica, e estabelecer valores de atuação para a descarga de águas pluviais, a partir de um sistema de monitorização. Este sistema de monitorização consiste numa bacia de retenção de águas pluviais, para a qual são drenadas todas as águas superficiais da Unidade Farmacêutica. Na bacia de retenção de águas pluviais são analisados, de forma contínua, os parâmetros Carbono Orgânico Total (COT) e pH.

Os valores de atuação permitem estabelecer níveis de alerta e níveis de ação, para o fecho das válvulas que efetuam a descarga no meio hídrico e, quando necessário, o respetivo desvio das águas para tratamento interno, evitando que águas potencialmente contaminadas sejam descarregadas nas massas de água.

A EPA (Environmental Protection Agency), agência irlandesa da proteção do ambiente, elaborou uma metodologia que permite calcular os valores de atuação, através da caracterização da água pluvial que aflui às instalações industriais.

Neste sentido, foram analisadas e caracterizadas as águas pluviais que afluíram à bacia de monitorização de águas pluviais da Unidade Farmacêutica, referentes ao período em estudo, de outubro de 2019 a junho de 2020.

Após retiradas todas as situações onde ocorreram contaminações provocadas por incidentes internos na Unidade Farmacêutica, foi possível calcular e estabelecer os valores de atuação. O nível de alerta proposto é a partir 60 mg/l para o COT, e quando o pH atinge um valor igual ou inferior a 6,5 e igual ou superior a 8; e o nível de ação proposto é a partir 90 mg/l para o COT, e quando pH atinge um valor igual ou inferior a 6 e igual ou superior a 9.

Para além disso, foram também avaliados os incidentes internos ocorridos. Verificou-se a ocorrência de 53 incidentes, sendo que 22 estão associados a variações de COT e de pH; 17 estão associados exclusivamente à variação do pH; e 14 estão associados à variação da concentração de COT.

Palavras-Chave: Indústria Farmacêutica; Águas Pluviais; Bacia de Contenção; Carbono Orgânico Total; pH; Valores de Atuação.

Abstract

The pharmaceutical industry is guided by the accuracy and quality that has always been required, not only during the manufacturing process but also regarding the entirety of the aspects related to the treatment of hazardous waste and its emissions, produced within the pharmaceutical facilities.

Industrial sites of this type of industry, in addition to the obligation for industrial wastewater treatment, also require the existence of a good management of the rainwater that runs off through the area of the industrial site, in order to avoid the contamination and pollution of water bodies, where this type of rainwaters are discharged.

The risk of contamination of rainwater arises in situations of spill incidents with chemical substances or other products, usually handled by the industries. In the inability to control them, the spilled products come in touch with the rainwater that did not seep into the soil, running off through the surfaces with a high level of impermeability.

Discharges of these contaminated rainwater run offs can have a cumulative effect on the soil and water environment, resulting in the quality degradation of these resources. Therefore, there is the risk of damaging, not only the ecosystems and society, but also the industry itself.

The Pharmaceutical Site in study intends to guarantee that all the environmental emissions are properly monitored and controlled and its main goal is to characterize the rainwater collected in the perimeter of the Site, and to establish trigger values for rainwater discharges, based on a monitoring system. This monitoring system consists of a rainwater retention basin, into which all the rainwater run offs are drained. In said rainwater retention basin, the Total Organic Carbon and pH parameters are analysed continuously.

The trigger values allow the Pharmaceutical Site to establish alert and action levels for the closing of the valves that enable the discharges into the receiving water body, and, when required, its diversion into internal treatment, preventing contaminated water from being discharged into the water bodies.

EPA, the Environmental Protection Agency from Ireland, carried out a methodology that allows the calculation of the trigger values, through the characterization of rainwater that runs off into industrial facilities.

Regarding this, the rainwater that runs off from the Pharmaceutical Site into the rainwater retention basin was analysed and characterized for the period under study, from October 2019 to June 2020.

After removing all the situations where contamination occurred due to internal incidents at the Pharmaceutical Site, it was possible to calculate and establish the trigger values. The

proposed alert level is above 60 mg/l for TOC, and 6.5 or below and 8 or above for pH; the proposed action level is above 90 mg/l for TOC, and 6 or below or 9 and above for pH.

In addition, these internal incidents have also been assessed. It concludes that occurred 53 incidents, 22 of which were associated with TOC and pH variations: 17 were associated exclusively with pH variation; and 14 were associated with TOC concentration variation.

Keywords: Pharmaceutical Industry; Rainwater; Rainwater Retention Basin; Total Organic Carbon; Trigger Values.

Lista de Abreviaturas e de Acrónimos

ANOVA	Análise de Variância
API	Princípio Ativo Farmacêutico
BAT	Best Available Techniques
BREF	BAT Reference Documents
CQO	Carência Química de Oxigénio
COT	Carbono Orgânico Total
COV	Composto Orgânico Volátil
EPA	Environmental Protection Agency (Ireland)
ETAR	Estação de Tratamento de Águas Residuais
ETARI	Estação de Tratamento de Águas Residuais Industriais
MTD	Melhores Práticas Disponíveis
PEAD	Polietileno de Alta Densidade
SNIRH	Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos
UTA	Unidades de Tratamento de Ar

Índice

1. Introdução	1
1.1. Contextualização do tema	1
1.2. Objetivo	2
1.3. Estrutura da dissertação	3
2. Revisão Bibliográfica.....	5
2.1. Recursos hídricos e sua poluição	5
2.2. Precipitação, água pluvial e escoamento superficial	8
2.3. O setor da indústria farmacêutica	9
2.3.1. Documentos de referência sobre as melhores técnicas disponíveis	11
2.3.2. Gestão das águas pluviais	12
3. Caso de Estudo.....	19
3.1. Caracterização da Unidade Farmacêutica	19
3.2. Caracterização da rede de drenagem de águas pluviais.....	22
3.3. Caracterização e identificação de situações problemáticas	25
3.4. Caracterização e identificação de riscos.....	26
3.5. Outras características relativas à proteção ambiental consideradas pela Unidade Farmacêutica	27
3.6. Potenciais impactos na envolvente	29
4. Metodologia.....	31
4.1. Definição do período de estudo e recolha de dados.....	31
4.2. Análise dos dados	33
4.3. Outros estudos	37
5. Resultados e Discussão.....	39
5.1. Recolha de dados de COT e pH	39
5.2. Análise dos incidentes internos.....	40
5.3. Análise dos dados da operação regular	52
5.4. Outros resultados	57
6. Conclusões	65

7.	Desenvolvimentos Futuros.....	71
8.	Referências Bibliográficas.....	73
9.	Anexos	77

Lista de Figuras

Figura 3.1. Sequência de tratamento da estação de tratamento de águas industriais da Unidade Farmacêutica.....	21
Figura 4.1. Analisador de COT Sievers InnovOx.....	32
Figura 5.1. Amostragens contínuas de COT ao longo do tempo.....	39
Figura 5.2. Amostragens contínuas de pH ao longo do tempo.....	40
Figura 5.3. Número de incidentes internos ocorridos na Unidade Farmacêutica.....	41
Figura 5.4. Distribuição da causa dos incidentes internos ocorridos na Unidade Farmacêutica.....	42
Figura 5.5. Distribuição dos derrames por substância derramada.....	42
Figura 5.6. Valores máximos de COT atingidos em incidentes internos de COT e pH.....	45
Figura 5.7. Valores mínimos e valores máximos de pH atingidos em incidentes internos de COT e pH.....	46
Figura 5.8. Valores mínimos e valores máximos de pH atingidos em incidentes internos de pH	47
Figura 5.9. Valores máximos de COT atingidos em incidentes internos de COT.....	48
Figura 5.10. Gráfico de <i>Boxplot</i> representativo da duração do incidente interno em função da sua classe.....	49
Figura 5.11. Gráfico de <i>Boxplot</i> representativo da duração do incidente interno em função do seu tipo de causa.....	50
Figura 5.12. Ocorrência de incidentes internos em função do dia da semana.....	51
Figura 5.13. Ocorrência de incidentes internos em função das horas do dia.....	51
Figura 5.14. Amostras de COT livres de contaminação, e da precipitação horária, durante o mesmo período.....	53
Figura 5.15. Amostras de pH livres de contaminação, e da precipitação horária, durante o mesmo período.....	54
Figura 5.16. Gráfico de probabilidade de COT sem contaminação.....	56

Figura 5.17. Gráfico de probabilidade de pH sem contaminação.....	57
Figura 5.18. Número e tipo de indústria, que respondeu ao Questionário Online.....	59
Figura 5.19. Resposta relativa ao local de descarga de águas pluviais.....	59
Figura 5.20. Resposta relativa à caracterização das águas pluviais drenadas na Unidade Farmacêutica.....	60
Figura 5.21. Resposta relativa ao tipo de sistema de análise da qualidade das águas pluviais.....	61
Figura 5.22. Resposta relativa ao método de desvio ou contenção, em caso de incidentes internos ou incêndios.....	62

Lista de Tabelas

Tabela 5.1. Número de incidentes com causa identificada e número de incidentes sem causa identificada.....	43
Tabela 5.2. Associação entre o tipo de derrame e a classe do incidente associado.....	44
Tabela 5.3. Média, desvio padrão e valores de atuação calculados para o COT.....	55
Tabela 5.4. Média, desvio padrão e valores de atuação calculados para o pH.....	55
Tabela 5.5. Resultados da análise de COT às amostras recolhidas nos pontos chave.....	58
Tabela 5.6. Erros relativos ao analisador de COT, detetados durante o período de estudo.....	63
Tabela 5.7. Durações dos erros do analisador de COT.....	63

1. Introdução

1.1. Contextualização do tema

O presente estudo aborda a problemática associada à potencial poluição dos recursos hídricos, provocada pelas águas pluviais, provenientes de uma Unidade Farmacêutica.

A água pluvial, água natural e potencialmente não contaminada, ao precipitar e escoar pelas zonas onde estão a decorrer atividades fabris, ou em qualquer outra zona que possa entrar em contacto com contaminantes, corre o risco de os arrastar e, em conjunto, serem descarregados no meio hídrico recetor (National Academies of Science, Engineering, and Medicine, 2019).

Na Unidade Farmacêutica em estudo, a rede de drenagem de águas pluviais foi renovada e ampliada, a fim de recolher e detetar contaminação nas águas superficiais que circulam em toda a sua área. O último ponto desta rede de drenagem, que se estende ao longo de toda a Unidade, é uma bacia de retenção de águas pluviais que pode efetuar a sua descarga para o meio hídrico. Nesta, as águas pluviais são monitorizadas, e são analisados, de forma contínua, os valores de COT (Carbono Orgânico Total) e pH, valores estes que determinam o destino destas águas.

De um modo geral, e dependendo do valor dos parâmetros monitorizados nesta bacia, as águas superficiais que a ela chegam podem ter três possíveis destinos: (1) descarga direta no meio hídrico recetor; (2) encaminhamento para o tanque de equalização, cujas águas seguirão para a estação de tratamento de águas residuais industriais (ETARI) da Unidade Farmacêutica; ou (3) encaminhamento para o tanque de correção de pH, cujo destino final será o coletor municipal de águas residuais.

Este modo de operação suporta-se na implementação das Melhores Técnicas Disponíveis (MTD) especificadas nos documentos de referência da União Europeia BREF OFC (*Manufacture of Organic Fine Chemicals*) e CWW (*Common Wastewater and Waste Gas Treatment in Chemical Sector*), que tem como objetivo a proteção das águas subterrâneas e superficiais.

Nesta Unidade Farmacêutica, assim como em qualquer outra unidade de indústria química, são utilizados inúmeros reagentes, solventes e produtos químicos perigosos para o meio ambiente. São diversos os impactos que estas águas pluviais, ao escoar pela superfície da Unidade Farmacêutica e arrastando consigo substâncias que nela se encontram, poderão provocar impactes no meio hídrico ao chegarem a uma linha de água. Estes impactes dependem de condições difíceis de controlar ou prever, nomeadamente, da concentração dos contaminantes e da pluviosidade que se vier a registar.

Desta forma, torna-se prioritário evitar qualquer tipo de derrame/contaminação, quer seja de pequenas ou grandes dimensões, bem como quaisquer outras possíveis fugas.

É também relevante considerar a água pluvial que precipita e escoar pela área de uma instalação farmacêutica como uma água potencialmente contaminada, reduzindo qualquer tipo de propagação dos contaminantes para o meio ambiente. Para além disto, estas instalações estão sujeitas a riscos como incêndios, os quais podem provocar a emissão de águas contaminadas de combate a incêndio e outras substâncias perigosas, no meio hídrico recetor.

É importante destacar que a bacia de retenção de águas pluviais é um sistema de fim de linha, tendo em conta que são consideradas outras medidas a montante, atuando como medidas de primeira linha de prevenção e mitigação da contaminação de solos e de águas pluviais. Entre estas medidas destacam-se as bacias de retenção no armazenamento de substâncias perigosas, sistemas de drenagem separativos e rotinas de manutenção, inspeção e verificação rigorosas.

Na falta de legislação portuguesa para um Valor Limite de Emissão (VLE) para o caso específico de águas pluviais provenientes de instalações industriais, e tendo em conta que se trata de um sistema praticamente pioneiro em Portugal, a Unidade Farmacêutica pretende, assim, definir valores de atuação no sistema de controlo da bacia de retenção de águas pluviais. Tais valores não serão caracterizados como sendo VLE, mas sim como valores internos para a atuação de fecho de válvulas e consequente desvio de águas pluviais potencialmente contaminadas ou de alerta, em caso de contaminação.

Considerando que não existem diretrizes específicas, estudos ou métodos, conhecidos em Portugal, no que toca à gestão e descarga de águas pluviais provenientes de instalações industriais, a Unidade Farmacêutica em estudo tem como base o guia elaborado pela EPA (Environmental Protection Agency) da Irlanda - *“Guidance on The Setting Of Trigger Values For Storm Water Discharges to Off-Site Surface Waters At EPA IPPC and Waste Licensed Facilities”* -, que indica uma forma sobre como as instalações industriais poderão determinar os valores de atuação a fim de evitar a contaminação do meio recetor, através das águas pluviais.

1.2. Objetivo

O principal objetivo da presente dissertação passa pelo estabelecimento de valores de atuação automática de alerta e consequente desvio das águas pluviais, na Unidade Farmacêutica em estudo, de modo a garantir a melhor performance ambiental.

Para contribuir para este objetivo, é necessário desenvolver os seguintes passos:

- recolha de dados de COT, pH e precipitação, durante o período de estudo: de outubro de 2019 até junho de 2020;

- avaliação do comportamento da concentração de COT e pH em função do tempo;
- eliminação de *outliers* de COT e pH ao longo do seu registo;
- identificação e isolamento de situações de ocorrência de incidentes internos (como, por exemplo, derrames) ou falhas de equipamento analítico do COT;
- análise de situações determinadas por incidentes internos;
- tratamento estatístico dos dados do COT e pH, registados durante o período de estudo, sem *outliers* e sem a consideração de situações associadas a incidentes internos;
- definição dos valores de atuação: níveis de alerta e níveis de ação.

1.3. Estrutura da dissertação

A presente dissertação está dividida em nove capítulos.

No capítulo um, é efetuada a contextualização e caracterizado o objetivo do trabalho desenvolvido na dissertação.

No segundo capítulo, apresenta-se a revisão bibliográfica, onde são apresentados os conhecimentos e componentes teóricas mais relevantes para o estudo desenvolvido.

No terceiro capítulo, é desenvolvida a apresentação, caracterização e descrição da Unidade Industrial, que configurou o caso de estudo da presente dissertação.

No quarto capítulo, é explicada a metodologia utilizada, de forma a alcançar os objetivos propostos.

No quinto capítulo, são exibidos e discutidos os principais resultados, obtidos durante o desenvolvimento da metodologia definida para a análise do caso de estudo.

No sexto capítulo, são apresentadas as conclusões obtidas e as principais limitações identificadas durante o desenvolvimento do presente estudo.

No sétimo capítulo, são discutidos e propostos desenvolvimentos futuros, que poderão vir a complementar o presente estudo.

No oitavo capítulo, são apresentadas as referências bibliográficas consultadas e citadas ao longo da revisão bibliográfica.

No nono capítulo, são exibidos os anexos, que apresentam informação adicional, mas que se entendeu que não deveria ser incluída no documento principal correspondente à presente dissertação, embora não deixem de constituir parte integrante da mesma.

2. Revisão Bibliográfica

2.1. Recursos hídricos e sua poluição

A Lei nº 58/2005, de 29 de dezembro, da Assembleia da República, Lei da Água, define os recursos hídricos como sendo todas as águas superficiais (interiores, de transição e costeiras) e as águas subterrâneas. Na Lei da Água, é também promovida a necessidade de proteger e reduzir a poluição dos recursos hídricos e a consciencialização do uso sustentável da água.

Os recursos hídricos são um dos bens mais necessários à sobrevivência humana, uma vez que são indispensáveis para sustentar os sistemas ecológicos e uma fonte de água potável (Government of Western Australia, n.d.).

Considerando o papel fundamental que a água tem para a sobrevivência da humanidade e para o seu desenvolvimento sustentável, torna-se essencial que sejam solucionados os problemas gerados pela degradação da qualidade dos recursos hídricos (Vieira, 2003).

O contínuo crescimento global da população e os crescentes desenvolvimentos tecnológicos e industriais, têm provocado um aumento no consumo de água, assim como a libertação de uma crescente quantidade de poluentes no meio aquático, resultantes das suas atividades e uso do solo (Vieira, 2003).

Aprovado pelo Decreto-Lei nº 76/2016, de 21 de agosto, foi definido um Plano Nacional da Água (PNA), tendo em vista a “necessidade uma gestão equilibrada e estratégica dos recursos hídricos” (APA, 2020).

O Plano Nacional da Água tem como principais finalidades proteger e requalificar o estado dos ecossistemas aquáticos, garantido a qualidade das massas de águas (superficiais, subterrâneas, costeiras e de transição); promover o uso sustentável e equilibrado das águas, de modo a assegurar a disponibilidade da mesma à humanidade e ecossistemas; e aumentar a capacidade de resposta face aos efeitos dos fenómenos meteorológicos resultantes das alterações climáticas (APA, 2016).

Segundo o Plano Nacional da Água, os efeitos nefastos sentidos pelos recursos hídricos, estão ligados, principalmente, às indústrias, à agricultura, à produção de energia, e aos usos do solo. Estes efeitos são originados pelas descargas de águas poluídas e pelo uso excessivo da água, que promovem alterações físicas e químicas às águas e alteram ecossistemas que das águas dependem (APA, 2015).

Poluição dos recursos hídricos

As atividades humanas, como por exemplo, industriais e agrícolas, e o uso do solo, representam um dos maiores riscos para a qualidade da água, considerando que através das descargas de água poluída e da lixiviação dos solos poderão chegar, em quantidades significativas, até aos recursos hídricos mais sensíveis, cargas poluentes significativas (Government of Western Australia, n.d.).

A poluição destes recursos põe em causa o equilíbrio de rios, lagos, estuários, aquíferos e sistemas costeiros e marinhos. Este tipo de situação pode também desencadear a disfunção dos ecossistemas, levando à perda de diversidade biológica e à alteração de habitats aquáticos, para além da poluição do recurso mais importante para o Homem (Kreamer et al, 2001).

É, portanto, um recurso muito vulnerável aos efeitos provenientes das atividades antropogénicas (Government of Western Australia, n.d.).

Existem diversas substâncias capazes de poluir as águas. Não só o tipo de substâncias é importante para determinar o efeito que poderá ter sobre as massas de água, mas também a sua concentração. De todos os fatores químicos, físicos e microbiológicos, capazes de afetar a qualidade das águas, podem-se destacar, por exemplo, compostos orgânicos, metais pesados e partículas suspensas (Kreamer et al, 2001).

Estes poluentes podem ser libertados para o sistema aquático por várias formas, como por exemplo, através do sistema de drenagem de águas superficiais; através do escoamento direto de águas escoadas para cursos de água localizados perto de instalações industriais ou campos agrícolas; e através de descargas de águas industriais. (SEPA, n.d.)

Os setores industriais e agrícola são responsáveis pela descarga de múltiplos contaminantes, através de emissões de águas residuais industriais e agrícolas e lixiviação das instalações destes setores. (Kreamer et al, 2001)

Assim, torna-se fulcral a consciencialização, prática e cumprimento de medidas de proteção, para que se mantenha a qualidade aceitável dos recursos hídricos. (Government of Western Australia, n.d.)

Com vista a reduzir esta poluição, é cada vez mais importante a adoção e o investimento em tecnologias capazes de reverter a poluição destas águas, para proteger o meio hídrico recetor. Também os países tornaram mais rígidas as suas legislações, de modo a evitar a degradação dos ecossistemas aquáticos e a promover a sua proteção. (Kreamer et al, 2001)

Legislação e controlo da qualidade dos recursos hídricos em Portugal

Em Portugal, e por forma a evitar a deterioração da qualidade dos recursos hídricos, foram impostas limitações relativamente à descarga de águas residuais urbanas e dos setores industriais.

No Decreto-Lei nº 236/98, de 1 de agosto, são estipulados critérios e objetivos de qualidade, que têm como intuito melhorar a qualidade da água e a proteção do meio aquático. Para tal, são definidas as normas de descarga das águas residuais urbanas e industriais, não só na água, como no solo.

Também o Decreto-Lei nº152/2017, de 7 de dezembro, é importante para a problemática do controlo da qualidade dos recursos hídricos, tendo em conta que nele são estabelecidas regulamentações para a qualidade da água para consumo humano.

Após uma descarga de água para o meio aquático, o comportamento dos poluentes e substâncias perigosas dependerá das características próprias destas substâncias, do clima que se fizer sentir no momento, das características hidrológicas sazonais e, mais importante, da sensibilidade do próprio meio aquático (Sikorova & Bernatik, 2018).

Assim, foram delimitadas e identificadas as zonas sensíveis e zonas menos sensíveis, de modo a proteger o meio aquático, e a não ameaçar a qualidade das águas em função dos seus usos (APA, 2020).

De acordo com o Decreto-Lei nº152/97, de 19 de junho, do Ministério do Ambiente, as zonas sensíveis e menos sensíveis correspondem a:

1. Zonas Sensíveis

- lagos naturais de água doce, estuários e águas costeiras que, ao não serem adotadas medidas de proteção, estejam eutróficos ou suscetíveis de o ser;
- águas onde exista uma fraca renovação, cujo efeito da descarga de contaminantes seja cumulativo, como afluentes a lagos ou albufeiras;
- águas que recebem grandes quantidades de nutrientes, como estuários, baías e águas costeiras;
- águas destinadas à captação de água potável.

2. Zonas Menos Sensíveis

- águas com boa renovação, não sujeitas à eutrofização ou empobrecimento de oxigénio, causado pelas descargas de águas residuais.

2.2. Precipitação, água pluvial e escoamento superficial

A precipitação é qualquer água que caia da atmosfera, podendo ser, por exemplo, sob a forma de neve, granizo, nevoeiro ou chuva (Fretwell & Redman, 1996).

A precipitação, ao cair sobre a superfície terrestre, pode infiltrar-se nos solos, evaporar ou permanecer retida em depressões (Quintela, 1992).

O escoamento superficial surge quando a água das chuvas, ao cair sobre os solos, não se infiltra no solo, e flui sobre o mesmo até à linha de água mais próxima (Lencastre & Franco, 1992).

As maiores taxas de escoamento de águas superficiais estão associadas a áreas cuja superfície é impermeável, como por exemplo, em estradas, estacionamento e zonas edificadas (Environmental Protection Agency, 2009). Este efeito altera os percursos da água e a sua infiltração no solo que, por consequência, diminui as recargas de água nos lençóis freáticos, rios e lagos (Aryal et al, 2010).

Para além disso, ao escoar pelas superfícies impermeáveis, a água pluvial pode transportar substâncias contaminantes, que poderão chegar até ao meio aquático (Environmental Protection Agency, 2009). O impacto que a descarga destas águas pode vir a ter no meio aquático recetor depende de uma série de fatores, entre eles, a origem dos poluentes, a sua concentração e certas características relacionadas com a precipitação, como por exemplo, a sua intensidade (Aryal et al, 2010; Choe et al, 2002).

A industrialização e a crescente e rápida urbanização dos terrenos tiveram, e continuam a ter, um papel principal na deterioração da qualidade e quantidade de água pluvial que chega até ao meio aquático (Chow et al, 2013).

As atividades humanas geram inúmeras substâncias sólidas, orgânicas, nutrientes e metais pesados, que ficam depositadas nos solos ou superfícies pavimentadas, que podem ser arrastados e misturados com as águas pluviais superficiais (Chow et al, 2013). Também as chamadas “primeiras chuvadas” são muito nefastas, tendo em conta a carga de contaminantes, acumulada nas superfícies durante os períodos secos, que as mesmas podem vir a transportar (Aryal et al, 2010).

No entanto, as descargas de águas pluviais não devem ter um impacto negativo na massa de água recetora. Para isto, o escoamento superficial gerado em áreas urbanizadas e em áreas

industriais requer um cuidado especial, e as características desta água devem ser analisadas (Choe et al, 2002).

2.3. O setor da indústria farmacêutica

O setor da indústria farmacêutica é uma das principais indústrias mundiais, sendo responsável pela investigação, produção, e venda de ingredientes farmacêuticos ativos ou medicamentos. É também considerado como sendo um dos principais setores económicos a nível mundial (Guedelha, 2018).

Considerando a sua elevada significância económica, torna-se numa indústria muito competitiva entre si, e enfrenta múltiplos desafios de forma sistemática, principalmente a nível da investigação e novas pesquisas, de regulamentações governamentais, e dos rigorosos requisitos necessários para a fabricação dos seus produtos (Hwang, n.d.).

A indústria farmacêutica, ao ter como principais atividades a pesquisa, o desenvolvimento, e a distribuição de produtos farmacêuticos, concebe um vastíssimo e importante número de produtos para o mercado que, quando consumidos, promovem continuamente uma melhoria na qualidade de vida, saúde, e segurança da sociedade (OECD, 2001).

Por ter tal importância na saúde das pessoas, esta apresenta requisitos de controlo de qualidade e de condições de higiene e segurança muito rigorosos e altamente regulamentados. No entanto, não só os produtos produzidos na indústria farmacêutica apresentam estes rigorosos requisitos, como também as suas instalações: desde a sua construção, passando pela contínua melhoria e reforço de estruturas e processos, até ao seu desmantelamento (Hwang, n.d.).

Para fabricarem a diversidade de produtos que se encontram disponíveis para melhorar a qualidade de vida da sociedade, as instalações farmacêuticas realizam algumas operações e processos. Desses, podem incluir-se cristalizações, carga e descarga de reagentes e solventes, inertizações, fases de separação, filtração, destilação, e lavagem de produtos (BREF OFC, 2006).

Apesar dos benefícios que esta indústria trouxe à sociedade, são inúmeros os impactos negativos que a produção dos seus produtos provoca no meio ambiente (OECD, 2001).

Impactos no ambiente

Os principais impactos sentidos pelo ambiente, cuja fonte está nas indústrias farmacêuticas, advêm:

- da emissão de gases para a atmosfera, contribuindo de grande forma para a poluição do ar. As combustões efetuadas nestas instalações provocam a emissão de compostos

orgânicos voláteis (COV) e gases acidificantes, como por exemplo óxidos sulfúrico e de azoto (Brinkmann et al, 2016; EPA, 2012);

- da emissão de águas residuais, industriais ou pluviais, para o meio recetor ou solos;
- da quantidade de resíduos não recicláveis (BREF OFC, 2006).

Para poderem produzir os seus produtos, as unidades farmacêuticas, necessitam de múltiplos e diferentes tipos de reagentes, solventes, catalisadores, sólidos e água (Gadipelly et al, 2014). Assim, as suas águas residuais industriais podem conter substâncias como matéria orgânica biodegradável e não biodegradável; matéria inorgânica; inibidores; e metais pesados (Shah, 2020).

Existem variadas fontes capazes de levar os contaminantes farmacêuticos até ao sistema aquático, desde descargas de águas residuais industriais, à água pluvial superficial, aos derrames, e a outros tipos de incidentes (Gadipelly et al, 2014).

Os poluentes provenientes destas fontes podem afetar as águas superficiais, tendo em conta a rota que estas descargas efetuam até aos cursos de água, sejam rios e oceanos, ou sistemas de distribuição de água. Estas rotas podem também afetar outros subsistemas, como a água subterrânea, que é poluída pelas águas que se infiltram nos solos, e os próprios solos (Brinkmann et al, 2016).

Identificação dos principais riscos

Todas as instalações industriais têm um potencial de risco para causar graves impactos ambientais, quer seja pelo derrame de uma substância ou por um incêndio, por exemplo (SEPA, n.d.).

i) Risco de derrame

Tendo em conta a quantidade de substâncias e materiais perigosos manuseados na indústria química e farmacêutica, o derrame de substâncias é uma das ameaças mais evidentes (Brinkmann et al, 2016).

Além disso, também os pequenos derrames podem ter efeitos cumulativos que, ao entrar em contacto com águas pluviais ou outras águas superficiais, as poluem (Duke & Shannon, 1992).

Para que as instalações industriais estejam preparadas, quer para pequenas como para grandes quantidades de derrames, é necessário que seja mantida uma inspeção regular e que sejam definidas, previamente, respostas e procedimentos eficientes (Duke & Shannon, 1992).

ii) Risco de incêndio

A fim de extinguir um incêndio numa instalação industrial, é utilizada água, espuma de combate a incêndios, ou ambos (HSE, 1995). Estas espumas de combate a incêndios são bastante prejudiciais para o meio aquático recetor, uma vez que contêm substâncias como biocidas surfactantes, agentes anticongelantes, e inibidores de corrosão. Para além disso, podem também pôr em causa a performance do tratamento das águas residuais industriais, tendo em conta que a grande parte dos tratamentos praticados nestas indústrias estão dependentes de ações microbiológicas (Vince et al, 2007).

Deste modo, esta água pode ficar contaminada no decorrer do incêndio, através das próprias substâncias usadas para a sua extinção, ou por reações tidas durante a combustão (ISO, 2012).

Dependendo da duração da ocorrência, podem ser necessários milhões de litros de água que, ao chegarem até ao meio hídrico, representam um grande perigo para o ambiente aquático. O comportamento que estas águas poderão ter em ambientes aquáticos depende de vários fatores, como por exemplo, de propriedades físicas e químicas das substâncias que estejam incluídas, das características hidrológicas desse meio hídrico e do clima que se fizer sentir (Sikorova & Bernatik, 2018).

Assim, adicionando a existência de produtos químicos envolvidos na extinção de um incêndio, às escorrências de água, que também é utilizada para o seu combate, forma-se um produto com elevada perigosidade para o meio ambiente (HSE, 1995).

2.3.1. Documentos de referência sobre as melhores técnicas disponíveis

Os documentos de referência sobre as Melhores Técnicas Disponíveis (MTD), "*Best Available Techniques (BAT) REference documents*", são documentos produzidos por especialistas da União Europeia, representantes da indústria europeia (ONGI) e das Organizações Não Governamentais de Ambiente (ONGA), que definem as Melhores Técnicas Disponíveis (MTD) para os vários setores abrangidos pela Diretiva 2008/1/CE do Parlamento Europeu e do Conselho (Agência Portuguesa do Ambiente, 2020).

Esta Diretiva obriga ao licenciamento ambiental das indústrias, baseando-se nas Melhores Técnicas Disponíveis (MTD). As MTD são práticas, a nível de equipamentos e/ou tecnologias, que diminuem ou evitam as emissões e o impacto ambiental das atividades que se realizam na instalação industrial (Agência Portuguesa do Ambiente, 2020).

Ainda segundo a Diretiva 2008/1/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 15 de janeiro de 2008, as MTD são caracterizadas como sendo técnicas utilizadas, desde o modo como

a instalação é projetada, até ao seu desmantelamento, cujo rácio custo/benefício é viável no setor industrial em discussão; e as melhores técnicas disponíveis que comprovem a sua eficácia perante a proteção do meio ambiente.

Considerando que a indústria farmacêutica está englobada dentro do variadíssimo setor da indústria química, os seus BREF referentes são o “*Manufacture of Organic Fine Chemicals*” (OFC) e o “*Common Wastewater and Waste Gas Treatment in Chemical Sector*”.

Nestes documentos de referência, são evidenciadas as Melhores Técnicas Disponíveis (MTD) para que esta indústria consiga resolver problemas de cariz ambiental, desde emissões para a atmosfera, à minimização do consumo de energia e produção de resíduos não recicláveis, e ao tratamento de águas residuais industriais (BREF OFC, 2006).

A estratégia de proteção da qualidade da água passa pela utilização de equipamentos adequados para o seu controlo e monitorização, instalações estanques e instrumentos adaptados para a existência de incêndios e água pluvial contaminada (BREF OFC, 2006).

Com vista à proteção das águas superficiais e subterrâneas, verifica-se a existência de uma MTD que consiste na monitorização e controlo das águas pluviais escoadas dentro da área das instalações, de modo a conter águas pluviais contaminadas e outras situações excecionais, como é o caso de águas contaminadas de combate a incêndios ou derrames. A contenção destas águas é efetuada por uma bacia de retenção de águas pluviais (Brinkmann et al, 2016).

2.3.2. Gestão das águas pluviais

Os espaços ao ar livre das instalações farmacêuticas e as atividades industriais praticadas nas suas áreas estão expostas a todas as condições meteorológicas (Environmental Protection Agency, 2009).

A água pluvial, ao entrar em contacto com as superfícies das instalações, como estradas, telhados ou zonas onde exista a possibilidade de pequenos derrames de substâncias perigosas, pode retê-las e transportá-las para os recursos hídricos ou solos (Government of Western Australia, n.d.). Considerando os contaminantes existentes nas atividades praticadas pela indústria, os impactos que os recursos hídricos podem sofrer são variados, podendo prejudicar as massas de águas, os ecossistemas e poluir as fontes de água potável (Environmental Protection Agency, 2009).

Os fatores associados à contaminação das águas pluviais podem ter origem nos seguintes eventos:

- Pequenos derrames, por exemplo, em operações de carga e descarga, em armazenamento externo, e em fugas. Os pequenos derrames podem ter efeitos

cumulativos que, ao entrar em contacto com águas pluviais, as poluem (Duke & Shannon, 1992).

- A conexão incorreta de tubagens (EPA, 2012);
- Lavagens de equipamentos, condutas ou pavimentos (Duke & Shannon, 1992).
- Outros fatores, como por exemplo, a existência de espaços ajardinados ou a sazonalidade, podem contribuir para as águas pluviais transportarem diferentes substâncias (EPA, 2012).

Ao observar estes fatores, torna-se necessário fazer uma boa gestão das águas pluviais. Esta gestão requer que certos aspetos sejam considerados, como, por exemplo, admitir a água pluvial como sendo uma água potencialmente contaminada, e considerar a monitorização das águas pluviais antes da sua descarga para o meio hídrico recetor (Government of Western Australia, n.d.).

Segregação dos sistemas de drenagem

No caso de fenómenos de precipitação intensa, o sistema interno de tratamento de águas residuais industriais da instalação poderá ficar sobrecarregando, podendo provocar a descarga destas águas no meio aquático sem o devido tratamento (Brinkmann et al, 2016).

Para além disto, é também possível que água pluvial, não contaminada, esteja a ser contaminada pelas águas provenientes das atividades executadas. Tal não só prejudica o ambiente, como a própria instalação, que estará a pôr em esforço o seu tratamento de águas residuais industriais (Brinkmann et al, 2016).

Para que se possa evitar a contaminação da água pluvial com as águas provenientes das atividades da instalação, é aconselhada a segregação dos sistemas de drenagem, não misturando as águas que venham de:

- áreas com tanques de armazenamento e todas as superfícies expostas a contaminação,

Com:

- estradas e outras pavimentações dentro da instalação; áreas de administração; áreas de estacionamento e telhados. (Brinkmann et al, 2016)

Pavimentação, revestimento e lavagem das áreas superficiais

A fim de que a água pluvial contaminada não se infiltre no solo e contamine o mesmo, é aconselhado o revestimento e impermeabilização das áreas de produção, de transferência de

substâncias e de todas as zonas onde exista a possibilidade de contaminação das águas superficiais (BREF OFC, 2006).

Também as áreas pavimentadas, sejam estas estradas ou caminhos pedonais, expostas à chuva, podem resultar na drenagem ou lixiviação de possíveis substâncias que podem contaminar a rede de drenagem. Estas áreas devem, por isso, ser lavadas regularmente (Government of Western Australia, n.d.).

Inspeção e procedimentos

Para prevenir a contaminação da água pluvial devido a pequenos derrames ou fugas, é necessário efetuar uma inspeção regular à instalação e corrigir situações onde seja iminente a possibilidade de tal acontecer (HSE, 1995).

Em caso de derrame, e de modo a que a resposta seja o mais rápida possível, devem ser definidos procedimentos e formas de ação que considerem as circunstâncias em que estes incidentes possam ocorrer, e as especificidades da instalação. Algumas das medidas podem ser a contenção do derrame com areia, e/ou a cobertura dos sumidouros do sistema de drenagem de águas pluviais com vedações próprias para tal (Duke & Shannon, 1992).

Bacias de retenção

No sentido de impedir o derrame de substâncias armazenadas, é aconselhada a criação de porões para as áreas de produção; ou a instalação de bacias de retenção, em todos os tanques de armazenamento de substâncias químicas, com capacidade suficiente para conter o volume total destas substâncias armazenadas (Brinkmann et al, 2016).

Bacia de retenção de águas pluviais

A bacia de retenção de águas pluviais deverá ser sempre considerada como uma medida de controlo de fim de linha. Devem ser sempre implementadas outras medidas que possam evitar que os poluentes atinjam a rede de drenagem de águas pluviais, de modo a que a contaminação desta água seja a menor possível (EPA, 2012).

Esta bacia de retenção pode receber não só as águas pluviais contaminadas, mas também águas de combate a incêndios ou águas superficiais poluídas, provenientes de derrames ou da lavagem de superfícies. Assim, as águas que escoam superficialmente pela área da instalação industrial, são coletadas pelo sistema de drenagem de águas pluviais e encaminhadas para a bacia de retenção de águas pluviais (Brinkmann et al, 2016).

Adicionalmente, e pensando nas primeiras chuvadas que, após períodos secos, podem arrastar uma carga de substâncias potencialmente perigosas, as bacias de retenção de águas

pluviais podem incluir um compartimento que retenha este tipo de água, e seja depois encaminhado para tratamento interno (Brinkmann et al, 2016).

Os benefícios da construção destas bacias são que, para além de prevenir a contaminação das águas superficiais e subterrâneas, também evitam a sobrecarga hidráulica no tratamento interno das águas residuais industriais (Brinkmann et al, 2016).

A capacidade da bacia de retenção de águas pluviais deve ser suficiente para que se possa garantir que as águas que até ela chegam, sejam analisadas e tratadas, antes que se proceda à sua descarga no meio hídrico recetor (Brinkmann et al, 2016). A sua capacidade pode também ser projetada tendo em conta o volume máximo de água que será potencialmente necessário para o combate de um incêndio na instalação (EPA, 1995).

O destino que as águas que chegam até à bacia de retenção de águas pluviais pode ter necessita de ser estabelecido. Desta forma, este poderá ser: descarga direta no meio aquático recetor; seguimento para tratamento interno de águas residuais industriais; ou encaminhamento para o coletor municipal. Esta decisão deve ser tomada tendo em conta a monitorização na bacia de retenção de águas pluviais (Brinkmann et al, 2016).

- **Monitorização da bacia**

A monitorização das águas que chegam até à bacia de retenção de águas pluviais deve ser efetuada através de parâmetros relevantes, que consigam identificar os contaminantes que possam advir das atividades praticadas nas instalações farmacêuticas. Além disso, também dependem da intensidade e duração da precipitação que caracteriza a região (EPA, 2012).

Os parâmetros podem ser, por exemplo, o pH, a Carência Bioquímica de Oxigénio (CBO), o Carbono Orgânico Total (COT), os Sólidos Suspensos (SS), turbidez ou cor (Brinkmann et al, 2016; EPA, 2012).

A frequência da monitorização e a decisão sobre se se efetua uma monitorização contínua ou pontual do parâmetro, depende da frequência da precipitação, das atividades realizadas na instalação farmacêutica, da sensibilidade do meio recetor e do tamanho da mesma. A partir da monitorização efetuada na bacia de retenção de águas pluviais, é possível definir o encaminhamento das águas que até ela chegam (Brinkmann et al, 2016).

- **Definição de valores de atuação: níveis de alerta ou níveis de ação**

De modo a evitar a descarga de águas pluviais potencialmente contaminadas, arriscando a deterioração da qualidade da água do meio hídrico recetor, é aconselhada a definição de valores de atuação (EPA, 2012). A metodologia para a definição dos valores de atuação relativamente à descarga de águas pluviais provenientes das instalações industriais, é baseada

no guia da Environmental Protection Agency (EPA) da Irlanda, o “*Guidance On The Setting of Trigger Values For Stormwater Discharges to Off-Site Surface Waters at EPA IPPC & Waste Licenced Facilities*”.

A definição dos valores de atuação indica à instalação industrial a gama de valores onde não existe contaminação, a partir da análise de um determinado parâmetro. Os limites destes valores, definem-se como níveis de alerta e de ação (EPA, 2012).

Caso seja verificado um desvio dos níveis, que significa que a água pluvial está contaminada, é possível atuar e desviar estas águas de modo a que não sejam descarregadas no meio hídrico recetor, sem qualquer tratamento (EPA, 2012).

Para se determinarem os valores limite é necessária a realização de uma monitorização contínua de parâmetros, e será sobre estes que será efetuada uma análise estatística. Sendo assim, torna-se necessário que se sigam os seguintes pressupostos:

- Devem ser considerados os possíveis impactos causados ao descarregar aquela água no meio hídrico recetor;
- Os parâmetros devem ser avaliados durante um período que inclua as variações sazonais e, preferencialmente, durante um ano;
- Não devem ser incluídas na análise, todas as amostragens que estejam ligadas a contaminações provenientes de atividades da instalação, durante o período de análise para a definição dos valores de atuação, tendo em conta que não refletirão valores normais considerados para águas pluviais (EPA, 2012).

Tendo os dados estabelecidos, os valores de atuação podem ser calculados por uma das seguintes formas:

➤ **Nível de Alerta:** $\bar{X} + (2 * \sigma)$

➤ **Nível de Ação:** $\bar{X} + (3 * \sigma)$

Onde,

\bar{X} – Média do parâmetro em estudo;

σ – Desvio padrão do parâmetro em estudo.

Ou

- **Valor de Nível:** Percentil 90;
- **Valor de Nível:** Percentil 95.

Desta forma, definidos os valores de atuação, a instalação pode tomar medidas preventivas de modo a evitar que os mesmos sejam alcançados ou ultrapassados (EPA, 2012).

3. Caso de Estudo

3.1. Caracterização da Unidade Farmacêutica

O caso de estudo da presente dissertação foi desenvolvido numa instalação farmacêutica que será denominada como “Unidade Farmacêutica”.

Descrição das atividades desenvolvidas

Na Unidade Farmacêutica, são conduzidas as atividades associadas à produção de API (princípio ativo farmacêutico): desde a fase de investigação, para desenvolvimento de tecnologias e produtos, e produção de API para ensaios clínicos à escala piloto; até às fases de produção de produtos comercializáveis, de larga escala. O API é posteriormente processado e formulado, na própria Unidade Farmacêutica, para fabrico de produtos formulados; ou noutros laboratórios de clientes da mesma.

Descrição das instalações e área envolvente

- **Implantação**

A Unidade Farmacêutica dispõe de uma área de cerca de 4 hectares, sendo que, destes, 84% consistem em área impermeável. Dentro desta área, encontram-se: coberturas dos edifícios, armazenamento de resíduos, bacias com reservatórios para o armazenamento de substâncias, zonas de circulação de veículos – estradas e zonas de estacionamento de viaturas ligeiras e pesadas, e áreas de trasfega de produtos.

A área não impermeabilizada corresponde a zonas ajardinadas e a zonas arbóreas situadas nas proximidades da Unidade Farmacêutica.

As diferentes áreas da Unidade Farmacêutica distinguem-se por:

- áreas de produção;
- áreas administrativas;
- áreas de reciclagem e tratamento de resíduos e efluentes;
- laboratórios de investigação;
- parques de armazenagem;
- armazéns.

A implantação está localizada numa encosta, cujo vale é um dos principais afluentes de um rio, numa das maiores bacias hidrográficas de Portugal, e situa-se a 30 metros de altitude.

Existe um canal que vai confluir na linha de água mais próxima no interior da Unidade Farmacêutica. Esse canal é revestido a betão e, normalmente, transporta um caudal pouco significativo, recebendo as águas pluviais provenientes de terrenos situados na envolvente, as águas pluviais geradas na própria Unidade Farmacêutica, e o escoamento proveniente de uma estrada nacional e de outras edificações próximas.

- **Área envolvente**

No que toca ao tipo de uso de solo na envolvente da área onde se encontra localizada a Unidade Farmacêutica, esta representa uma zona mista, caracterizando-se pela existência de zonas urbanas, industriais e rurais. Nas suas imediações, existem áreas urbanas ocupadas por: habitações; áreas verdes, agrícolas e florestais, com alguns terrenos cujos solos estão cobertos por sobreiros e oliveiras; e uma área ocupada por outra unidade fabril.

Num raio de cerca de 3,5 km da Unidade Farmacêutica, dá-se conta da existência de três furos de água. Verifica-se também a existência de poços utilizados para a rega.

- **Caraterização das substâncias perigosas**

Como é característico da indústria farmacêutica, nas suas instalações são utilizadas, produzidas e armazenadas substâncias perigosas – desde as matérias primas, aos fluídos de refrigeração, e aos resíduos gerados no processo produtivo. A libertação indevida de qualquer destes materiais perigosos para a água ou para o solo poderia causar uma contaminação.

De todas as substâncias utilizadas ou produzidas na Unidade Farmacêutica, 145 são classificadas como substâncias perigosas - maioritariamente líquidas -, com características capazes de prejudicar os solos e as águas superficiais e subterrâneas.

As zonas onde se encontram estas substâncias e que, por consequência, podem inserir um potencial de contaminação, dividem-se em:

- edifícios onde são utilizadas as substâncias perigosas;
- zonas de trasfega e armazenamento;
- zonas onde circulam contentores cujo conteúdo corresponde a substâncias perigosas;
- redes de tubagens;
- equipamentos de tratamento de efluentes e resíduos.

- **Caraterização e tratamento dos efluentes**

Na Unidade Farmacêutica os efluentes são segregados por efluentes industriais, efluentes domésticos e águas pluviais, e são conduzidos através de três redes de drenagem subterrânea diferentes.

- A rede de **efluente industrial** encaminha: os efluentes gerados nos processos produtivos, o efluente da unidade de tratamento de emissões gasosas; e purgas provenientes das torres de refrigeração, bombas de vácuo e condensados.

O efluente é homogeneizado num tanque da estação de tratamento de águas residuais industriais (ETARI) da Unidade Farmacêutica, e posteriormente bombeado para tratamento *Steam-Stripping*, tecnologia com foco na remoção de compostos voláteis por meio de injeção de vapor direto. Os compostos voláteis são recuperados e a água residual tratada é homogeneizada novamente, e sofre correção de pH, antes de ser encaminhada para o tanque de exportação.

A sequência de tratamento desta estação de tratamento, localizada na Unidade Farmacêutica encontra-se representada na Figura 3.1.

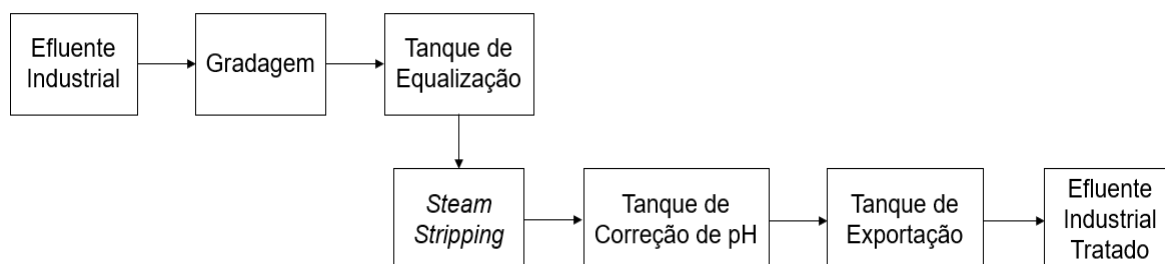


Figura 3.1. - Sequência de tratamento da estação de tratamento de águas industriais da Unidade Farmacêutica.

Após este tratamento, o efluente industrial é encaminhado, em conjunto com o efluente doméstico, para o coletor municipal que descarrega a jusante, para tratamento por via biológica, numa estação de tratamento de águas residuais (ETAR) municipal.

- Como referido no ponto anterior, o **efluente doméstico** - proveniente das áreas administrativas e de serviços -, é encaminhado para o tanque de exportação, onde é misturado com o efluente industrial tratado e, posteriormente, enviado para o coletor municipal de drenagem de águas residuais.
- As **águas pluviais** da área fabril, assim como as restantes águas superficiais escoadas para o sistema de drenagem de águas pluviais da Unidade Farmacêutica, estão sujeitas a

contaminações associadas à atividade industrial e são monitorizadas para evitar potenciais contaminações do meio hídrico. Assim, os sumidouros superficiais que recolhem as águas pluviais, encaminham-nas até um único ponto de concentração: a bacia de retenção de águas pluviais. Nesta bacia, são monitorizados de forma contínua o Carbono Orgânico Total (COT) e o pH, de forma a identificar o destino adequado dessas águas pluviais, de acordo com as suas características: águas potencialmente contaminadas são encaminhadas para o tratamento na ETARI (tanque de equalização e pré-tratamento por *Steam Stripping*) ou para ajuste de pH (tanque de correção de pH); águas não contaminadas são encaminhadas para o canal que atravessa a Unidade Farmacêutica e daí para a rede hidrográfica.

O Carbono Orgânico Total e o pH foram os parâmetros estabelecidos pela Unidade Farmacêutica, tendo em conta que, dadas as atividades que decorrem dentro da mesma, são utilizados múltiplos compostos orgânicos, ácidos e bases.

3.2. Caracterização da rede de drenagem de águas pluviais

Rede de drenagem de águas pluviais

Na rede de drenagem de águas pluviais, circulam, para além da água pluvial, todas as águas superficiais incluindo: águas de lavagem, águas provenientes de regas dos espaços ajardinados, águas de combate a incêndio, e eventuais derrames. Estas são recolhidas dos pavimentos, estradas, e telhados, e então encaminhadas, através de sumidouros, para a rede de drenagem de águas pluviais.

A rede de drenagem de águas pluviais é constituída por PEAD, e converge até um único ponto de concentração: a bacia de retenção de águas pluviais.

Bacia de retenção de águas pluviais

A bacia de retenção de águas pluviais está destinada à monitorização, controlo e desvio destas águas, e é uma adoção das Melhores Técnicas Disponíveis (MTD) definidas nos documentos de referência BRED OFC (*Manufacture of Organic Fine Chemicals*) e BREF CWW (*Common Wastewater and Waste Gas Treatment in Chemical Sector*).

As águas superficiais que circulam na Unidade Farmacêutica são monitorizadas e controladas pelos parâmetros COT e pH, que permitem que águas potencialmente contaminadas possam ser devidamente retidas e tratadas, antes da sua descarga para o meio recetor, protegendo as águas naturais e o solo.

Os parâmetros foram escolhidos tendo em conta as substâncias e matérias manuseadas dentro da Unidade Farmacêutica, de modo a detetar, através da análise de COT, contaminação

através de substâncias com teores orgânicos e, através da análise de pH, contaminação provocada por substâncias inorgânicas.

Esta bacia permite também que, em condições excepcionais como situações de pequenos ou grandes derrames ou de incêndio, águas contaminadas sejam recolhidas, desviadas e devidamente tratadas.

A medição contínua do COT e do pH, através de analisadores localizados na bacia, torna possível a deteção de valores anormais destes parâmetros, que pode indicar uma possível contaminação. Desta forma, em função dos valores medidos de COT e pH, é possível desviar as águas superficiais, consoante os valores obtidos.

Para além de poder receber águas pluviais contaminadas, a bacia de retenção de águas pluviais poderá receber, ainda, águas de combate a incêndios ou derrames de substâncias perigosas. Assim, permite que, na ocorrência de eventos extraordinários, a proteção do meio hídrico recetor esteja garantida.

Caraterísticas da bacia de retenção de águas pluviais

A bacia de retenção de águas pluviais é constituída por betão e possui uma capacidade útil de 95 m³ e uma área de 28 m². A bacia foi dimensionada tendo como base o tempo de retenção do caudal afluente, levando em consideração as características de monitorização contínua do parâmetro de COT, cujo tempo de resposta é de 5 minutos.

As águas pluviais, provenientes da rede de drenagem, são descarregadas nesta bacia de forma gravítica, afogada e uniforme. Não existe qualquer agitador dentro da mesma.

O encaminhamento atual que as águas pluviais que se encontrem na bacia de retenção de águas pluviais podem ter é o seguinte:

- (1) Gravítico, para o meio aquático recetor, caso se verifique que o COT está abaixo dos 50 mg/l e o pH está entre 6,5 e 8,5;
- (2) Por bombagem, para o tanque de correção de pH de seguida sendo encaminhado para o coletor municipal, em situações onde o COT se encontre entre 50 e 500 mg/l;
- (3) Por bombagem, em situações onde o COT se encontra acima 500 mg/l, valores onde a presença de matérias orgânicas e solventes é óbvia e, sendo assim, encaminhada para o tanque de equalização que antecede a ETAR;
- (4) Por gravidade, para o coletor municipal, em situações de transbordamento.

As bombas de elevação de águas para o tanque de correção de pH e para o tanque de equalização, em caso de desvio de água, estão localizadas no fundo da bacia de retenção de águas pluviais.

Valores de atuação na monitorização de águas pluviais

Tendo em conta a não existência de regulamentação nacional para o estabelecimento de valores de pH e COT na descarga de águas pluviais, a Unidade Farmacêutica em estudo admitiu a aplicação da metodologia de determinação destes valores baseados no “*Guidance on the Setting of Trigger Values for Storm Water Discharges to Off-site Surface Waters at EPA IPPC and Waste Licensed Facilities, 2012*”, um guia onde são estabelecidos valores de atuação para sistemas deste tipo.

Estes valores são considerados valores de atuação, cujo objetivo é designar os níveis normais e anormais dos parâmetros analisados continuamente na bacia de retenção de águas pluviais, para se proceder ao devido encaminhamento final das águas que à mesma afluem. Desta forma, estes valores de atuação estabelecem níveis de alerta ou de ação:

- **Níveis de alerta**, onde a água é encaminhada para o tanque de correção de pH e, posteriormente, para o coletor municipal de águas residuais;
- **Níveis de ação**, onde a água é encaminhada para o tanque de equalização, no qual é misturada com o efluente industrial e, seguidamente, encaminhada para a ETARI.

Antes do presente estudo ser desenvolvido e de se poderem estabelecer níveis máximos de atuação automática para as válvulas de descarga de águas pluviais apropriados para a Unidade Farmacêutica em estudo, os valores praticados pela mesma são os seguintes:

Níveis de Alerta:

- 45 mg/l, para COT;

Níveis de Ação:

- 50 mg/l, para COT;
- 6,5 a 8,5, para o pH.

Desta forma, um desvio destes níveis com um normal funcionamento desta bacia significa uma potencial contaminação das águas pluviais - sendo necessária a realização de uma avaliação, a fim de identificar as possíveis causas de contaminação.

Estes são valores já praticados noutra fábrica da mesma empresa farmacêutica, mas poderão encontrar-se desajustados para esta Unidade Farmacêutica, tendo em consideração

fatores externos, como é o caso da própria meteorologia e, sobretudo, da envolvente exterior à mesma.

3.3. Caracterização e identificação de situações a considerar

Dentro da Unidade Farmacêutica é identificado o escoamento de água para a bacia de retenção de águas pluviais, mesmo quando não existem eventos de precipitação. A origem desta água poderá resultar das seguintes causas:

- Rega diária dos espaços ajardinados;
- Lavagem das Unidades de Tratamento de Ar (UTA);
- Fugas em tanques;
- Escorrências de telhados.

Foram também assinalados casos onde, após um período de precipitação, foram detetados valores elevados de pH. Após este caso ter sido avaliado, verificou-se que a origem destes valores elevados estava associada à drenagem de águas localizadas perto de um jardim, para o sumidouro de pluviais. Esta ocorrência destaca-se, principalmente, quando o jardim é adubado.

Em períodos de precipitação, dada a inclinação verificada no terreno onde se localiza a Unidade Farmacêutica, observa-se o escoamento da água superficial, proveniente de uma estrada municipal de elevado tráfego, externa à Unidade Farmacêutica, para o interior da mesma. Tendo em conta que existe um sumidouro junto à entrada, a água que escoar nessa estrada, ao chegar até à rede de drenagem de águas pluviais da Unidade Farmacêutica, pode contribuir para a contaminação das águas caídas dentro da sua área, levando a um esforço maior por parte da mesma para que, também estas águas, sejam tratadas.

Durante grande parte de 2019 e início de 2020, ocorreram atividades de construção dentro da Unidade Farmacêutica, nomeadamente, a realização de alcatroamentos e a construção de um edifício, tendo sido um período atípico na atividade da mesma.

Os valores de COT e de pH podem apresentar valores diferentes e superiores aos habituais, tendo em conta que, neste tipo de obras, são usados diferentes tipos de substâncias que, com a precipitação, podem ser arrastadas para a rede de drenagem de águas pluviais.

Existem outros fatores externos e ocasionais, não associados diretamente às atividades da Unidade Farmacêutica, que podem promover a contaminação da rede de drenagem de pluviais. Como por exemplo:

- Lavagens de equipamentos externos;

- Áreas de estacionamento;
- Circulação de caminhões e outro tipo de viaturas dentro da Unidade Farmacêutica.

Os parques de estacionamento são dotados de separadores de hidrocarbonetos. Este separador minimiza a potencial chegada de hidrocarbonetos ou outros contaminantes à rede de drenagem de águas pluviais.

3.4. Caracterização e identificação de riscos

Considerando o armazenamento e manipulação de elevados volumes de uma grande variedade de substâncias perigosas, é patente a existência de vários riscos de acidentes que possam pôr em causa o normal funcionamento da rede de drenagem de águas pluviais, tais como:

Derrames de substâncias perigosas

As substâncias perigosas que se encontram em manuseamento, armazenamento ou em circulação na Unidade Farmacêutica apresentam um elevado risco de contaminação propagável ao ambiente em caso de derrame. As consequências de um derrame que alcance o meio hídrico determinarão um impacto negativo, dependendo a sua magnitude e significado do tipo e volume da substância derramada.

Uma medida mitigante instalada em todos os locais de armazenamento de substâncias perigosas são as bacias de retenção, com capacidade de retenção suficiente para a contenção de todo o volume armazenado, em caso de derrame. Os líquidos acumulados nas bacias são geridos e encaminhados como efluente industrial para a rede de drenagem do efluente industrial; sendo este encaminhamento efetuado por bombagem ou por encaminhamento direto por tubagem instalada na própria bacia de retenção.

Em situações de transporte de vasilhames temporários, podem ocorrer derrames fora de bacias de contenção. Estes eventos serão alvos de uma rápida intervenção por parte do pessoal encarregue, com o objetivo de absorver o derrame, antes que este chegue aos sumidouros da rede de drenagem de águas pluviais.

Caso um derrame atinja a rede de drenagem de águas pluviais, a contínua monitorização destas águas na bacia de retenção de águas pluviais detetará a contaminação, e as águas contaminadas serão desviadas para tratamento interno, dependendo do grau de contaminação.

Existem também kits de anti derrame em todas as zonas envolventes e de trasfega dos Parques de Solventes, perto de todos os tanques que contêm substâncias perigosas e das áreas de produção.

Incêndios

Existe o perigo de ocorrência de incêndio devido à elevada inflamabilidade das substâncias perigosas, ao risco de incêndios em equipamentos elétricos e ao risco de incêndio rural na área arborizada localizada nas redondezas da Unidade Farmacêutica.

Nesta ocorrência, prevê-se o acionamento do Plano de Emergência Interno, onde são descritas as instruções de atuação, e de ativação de procedimentos para comunicação externa para se proceder à rápida resolução da mesma.

As águas de combate a incêndio contaminadas que escoem pela área da Unidade Farmacêutica serão recolhidas pelos diversos sumidouros existentes na rede de drenagem de águas pluviais e encaminhadas para o tanque de retenção de águas pluviais. Neste, serão desviadas para a ETARI, não comprometendo a linha de água artificial que passa pela Unidade Farmacêutica ou o solo, fora das imediações desta.

Explosão

Devido à elevada probabilidade de que materiais de processo possam originar atmosferas explosivas, todas as áreas onde exista este potencial são identificadas, e as fontes de ignição são controladas.

3.5. Outras características relativas à proteção ambiental consideradas pela Unidade Farmacêutica

Desvios de águas e lavagem de áreas superficiais

As águas pluviais caídas nas zonas técnicas da Unidade Farmacêutica, como é o caso das bacias de retenção de reservatórios de substâncias perigosas, são direcionadas para a rede de drenagem de efluente industrial.

Para além disto, são efetuadas lavagens periódicas aos pavimentos, coberturas, e rede de drenagem de pluviais, por forma a diminuir a quantidade de substâncias contaminantes a serem arrastadas pelas águas pluviais. Esta água de lavagem é encaminhada para tratamento interno, na ETARI.

Relatório de incidentes

Todos os incidentes que ocorram na Unidade Farmacêutica são devidamente reportados e descritos num sistema interno e próprio de registo de eventos.

Neles são descritos os incidentes detalhadamente, de forma a incluir a informação relevante à investigação: a data e hora em que foi notada a ocorrência, a localização, o pessoal envolvido; o que aconteceu; as causas identificáveis no momento; as medidas tomadas de modo a conter o incidente; e a sua classificação de impacto.

Depois de reportado, inicia-se uma investigação para que seja possível conter o incidente, caso este ainda esteja a decorrer por algum motivo, e tomar medidas para que tal não volte a ocorrer.

Falhas de energia

Caso existam falhas de energia, o que pode comprometer o devido funcionamento da ETARI e da bacia de retenção de águas pluviais e levar à libertação de efluente não controlado, a Unidade Farmacêutica dispõe de vários geradores de emergência, assegurando, desta forma, o devido funcionamento dos equipamentos.

Se, porventura, estes geradores falharem, a válvula que descarrega a água pluvial da bacia de retenção de águas pluviais fecha automaticamente e o volume que exista dentro da mesma é encaminhado para o coletor municipal, graviticamente, e as afluições à ETARI são interrompidas.

Inspeções e manutenção

Periodicamente são realizadas inspeções integradas no Plano de Inspeção Periódico próprio da Unidade Farmacêutica, nomeadamente a bacias de contenção, caixas de visita, reservatórios, tubagens, tanques de águas residuais, rede de drenagem de águas residuais industriais, contentores armazenados, e à zona de descarga de águas pluviais.

Também a manutenção dos equipamentos é regular e sempre que é detetada alguma falha, é imediatamente reportada e regulada.

Circulação

A circulação de veículos ligeiros é limitada e encontra-se devidamente sinalizada. Também as zonas de carga e descarga de substâncias estão apropriadamente assinaladas e diferenciadas das restantes zonas de circulação rodoviária.

Estas zonas de circulação estão impermeabilizadas e as águas que escoam pelas mesmas são direcionadas até à bacia de retenção de águas pluviais.

3.6. Potenciais impactos na envolvente

Considerando que a localização da Unidade Farmacêutica ocupa um território rodeado por habitações, indústrias, espaços agrícolas e áreas florestais, e tendo em conta a existência da linha de água artificial (canal) que atravessa a mesma, os possíveis impactos e até desastres ambientais, seriam muito nefastos.

A contaminação do curso de água artificial que atravessa a Unidade Farmacêutica poderá provocar graves danos no meio aquático, tendo em conta que este escoia para uma linha de água que faz parte de uma importante bacia hidrográfica. Para além disto, existem poços e furos de água nas imediações, que poderão ficar comprometidos com esta situação.

A infiltração de águas contaminadas nos solos poderá também causar contaminação, não só destes, como também de lençóis freáticos.

Desta forma, a Unidade Farmacêutica aplica um controlo minucioso para que todos os fatores que possam prejudicar o ambiente envolvente estejam controlados, implementando uma constante monitorização e criando rotinas de inspeção, tentando que as práticas desenvolvidas sejam as mais atuais e adequadas.

4. Metodologia

No sentido de conseguir atingir os objetivos propostos para esta dissertação, foi estabelecida uma metodologia, cujos principais passos são, em seguida, elencados:

- Definição do período de estudo;
- Recolha dos dados de COT e de pH, recolha de dados de precipitação provenientes da estação meteorológica mais próxima da Unidade Farmacêutica;
- Análise dos dados; retirar dos dados a tratar todos os que são relativos a *outliers* e a incidentes internos; análise dos incidentes internos.
- Cálculo de valores de atuação: níveis de alerta e de ação;
- Recolha de amostras em pontos chave.

Adicionalmente ao objetivo proposto, foram efetuados outros estudos, nomeadamente, um questionário online e foram ainda quantificados e analisados os erros provenientes do analisador de COT.

4.1. Definição do período de estudo e recolha de dados

Definição do período de estudo

O intervalo temporal considerado para o estudo desenvolvido corresponde ao período onde os dados relativos ao COT e pH ficaram disponíveis, referente a outubro de 2019 a junho de 2020.

Recolha de dados de COT

A bacia de retenção de águas pluviais dispõe de um analisador de Carbono Orgânico Total (COT) Sievers InnovOx, representado na Figura 4.1.



*Figura 4.1. - Analisador de carbono orgânico total (COT) Sievers InnovOx.
Fonte: Particle Measuring Technique CO. (Fonte: <http://pmt.co.th/>)*

O analisador recolhe e analisa amostras da bacia de retenção de águas pluviais, de forma sistemática, a cada 6 minutos. Através da técnica de oxidação supercrítica da amostra, os compostos orgânicos são degradados a altas temperaturas até à forma de dióxido de carbono (CO_2). Assim, a concentração de carbono orgânico total será o resultado da diferença entre o carbono total (CT) e o carbono inorgânico (CI).

Após análise, o analisador regista os valores de COT na sua base de dados, possibilitando que sejam recolhidos os registos referentes aos meses em estudo.

Recolha de dados de pH

A bacia de retenção de águas pluviais dispõe de duas sondas que medem pH destas águas, de minuto a minuto.

Recolha de dados de precipitação

Os valores de precipitação horária foram retirados a partir do Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos (SNIRH), da estação climatológica cuja localização é a mais próxima da Unidade Farmacêutica estudada.

No SNIRH apenas estão disponíveis os dados de precipitação horária até ao dia 29 de abril de 2020. Desta forma, não existem dados de precipitação referentes ao restante período em estudo.

4.2. Análise dos dados

Para que sejam calculados os valores de atuação (níveis de alerta e de ação) corretamente, é necessário avaliar os dados de COT e pH ao longo do período de estudo. É também necessário verificar todas as situações onde exista a possibilidade da água pluvial, que chega até à bacia de retenção de águas pluviais, ter sido contaminada pelas atividades decorrentes na Unidade Farmacêutica ou por águas pluviais externas que afluem até à mesma.

A existência de tais situações na base de dados, de onde serão calculados os valores de atuação, contribuirá para que estes sejam altos, não refletindo os valores normais de COT e de pH em situações onde a água pluvial se encontra livre de contaminação.

Assim, dos dados de COT e pH são retirados e são analisados, caso a caso, os *outliers*, os dados provenientes de incidentes internos da Unidade Farmacêutica, e dados cujos valores de COT e pH demonstram ter um aumento significativo ao longo do tempo. Após serem retirados, o volume de dados restante corresponderá a situações onde não existiu situação de contaminação, pelo que será a partir dos mesmos que serão calculados os valores de atuação.

Outliers

São considerados como *outliers* amostras de dados entre as quais se verifique, durante um curto espaço de tempo, uma grande variância. Estes estão associados a erros próprios dos equipamentos utilizados para analisar os parâmetros em estudo.

Incidentes internos

Atendendo ao facto de que, numa instalação farmacêutica, são variados os produtos químicos utilizados para as diversas atividades que nela se desenvolvem, é elevado o risco de incidentes relacionados com derrames ou fugas.

Além do mais, a circulação de camiões e de outros veículos, e a existência de outras intervenções, como obras ou construções de edifícios, podem libertar substâncias para as superfícies impermeáveis, que podem ser arrastadas pela água pluvial, contaminando-a, até à rede de drenagem de águas pluviais.

Os incidentes ocorridos dentro da Unidade Farmacêutica em estudo e a montante da bacia de retenção de águas pluviais, sem que ocorram impactos externos à mesma, denominam-se por incidentes internos.

Caso estes incidentes ocorram, e não seja possível a sua contenção de modo que a contaminação não escoe até à rede de drenagem de águas pluviais, tal refletir-se-á nos valores de COT e/ou pH.

Após estes casos serem retirados do volume de dados onde não existe contaminação, é importante verificar e identificar o dia da semana, a hora inicial, valor máximo ou mínimo do parâmetro em causa, a sua duração e a causa.

Os incidentes estão relacionados com o aumento e/ou diminuição de COT e/ou pH. Assim, agruparam-se os incidentes segundo as seguintes classes:

- Incidente interno relacionado com COT e pH: onde a tendência é que o COT aumente e o pH aumente ou diminua;
- Incidente interno relacionado com COT: a tendência é que apenas aumente o COT e o pH se mantenha constante;
- Incidente interno relacionado com pH: a tendência é que apenas aumente ou diminua o pH e o COT continue constante.

Para períodos onde se verifica a inexistência de amostras de COT devido a erros do analisador e em que o pH aumenta/diminui, o incidente foi classificado como incidente interno relacionado com pH. O mesmo se aplicou a situações onde se verifica o aumento de COT e a inexistência de amostras de pH para o mesmo período, tendo o incidente sido classificado como incidente interno relacionado com COT.

Ainda dentro destas classes, os incidentes da Unidade Farmacêutica serão divididos em: incidentes com causa identificada; e incidentes com causa não identificada.

- **Incidentes internos com causa identificada**

Os incidentes com causa identificada, são todos aqueles que foram reportados durante o período de estudo. Por sua vez, a partir dos relatórios do sistema de registo de incidentes internos, foram recolhidos todos os incidentes relativos a derrames ou a outros incidentes que possam ter ocorrido, provocando a contaminação das águas que chegavam até à rede de drenagem de águas pluviais.

Apesar destes relatórios providenciarem um horário de ocorrência do incidente, existe um tempo que medeia entre o início do incidente, a sua deteção e a realização do relatório por parte dos operadores responsáveis. Durante este tempo, a contaminação já pode ter atingido a bacia de retenção de águas pluviais.

No entanto, é possível verificar a influência do incidente e perceber quando e se o mesmo chegou à rede de drenagem de águas pluviais e, por consequência, à bacia de retenção de águas pluviais. Esta influência verifica-se através do comportamento e variação do COT e/ou do pH ao longo do tempo.

- **Incidentes internos com causa não identificada**

Correspondem a incidentes para os quais, após análise, não foi possível identificar causas de forma assertiva.

A identificação destes incidentes surge durante a análise dos dados de COT e de pH, onde se verifica o aumento dos valores ao longo do tempo, sem que estes tenham qualquer relação com os incidentes reportados no sistema de registo de incidentes internos.

Estes incidentes podem corresponder a situações onde:

- Tenham existido intervenções na Unidade Farmacêutica, nomeadamente na construção de edifícios e estradas, que possam ter sido fonte de contaminação, tendo em conta os materiais utilizados para as obras e a própria deslocação de veículos para o transporte de materiais;
- Tenham ocorrido fugas ou derrames não detetados;
- Tenham ocorrido escorrências de águas dos espaços ajardinados;
- Tenha afluído até à Unidade Farmacêutica, águas superficiais não geradas na mesma.

Dados da operação regular

Após serem retirados os dados referentes a situações onde existem indícios de contaminação, os dados relativos a COT e ao pH refletem os valores normais dos parâmetros para situações onde a água pluvial se encontra livre de contaminação, denominados também de dados da operação regular.

A partir deste volume de dados, é efetuada a análise estatística, são calculados a média e o desvio padrão.

Para analisar estatisticamente os dados, foram efetuados os testes ANOVA de fator único e o teste de Anderson-Darling.

- **Cálculo dos valores de atuação**

Posteriormente a determinar a média e o desvio padrão do COT e do pH referente aos períodos onde não existem amostras contaminadas pelos incidentes internos da Unidade Farmacêutica, são definidos os níveis de alerta e os níveis de ação, para cada parâmetro.

Tendo como base o guia “*Guidance on the Setting of Trigger Values for Storm Water Discharges to Off-site Surface Waters at EPA IPPC and Waste Licensed Facilities*”, os valores foram calculados da seguinte forma, para cada um dos parâmetros em estudo:

- **Nível de Alerta** = $\bar{X} + (2 * \sigma)$
- **Nível de Atuação:** $\bar{X} + (3 * \sigma)$

Onde,

\bar{X} – Média do parâmetro em estudo;

σ – Desvio padrão do parâmetro em estudo.

- **Teste de Anderson-Darling**

A fim de verificar a normalidade dos dados livres de contaminação, foi aplicado o teste de Anderson-Darling. Para tal, foram definidas as seguintes hipóteses:

- H_0 : Os dados seguem uma distribuição normal;
- H_1 : Os dados não seguem uma distribuição normal.

Esta análise é efetuada através do *software* Minitab, com um nível de significância de 5%, isto é, um grau de confiança de 95%. Desta forma, caso o valor de p calculado seja menor do que 0,05, a hipótese nula de que os dados seguem uma distribuição normal, é rejeitada; caso o valor de p for maior ou igual a 0,05, a hipótese nula é aceite.

- **Teste ANOVA**

O teste ANOVA de fator único, permite comparar os parâmetros entre duas ou mais populações. Este teste é inválido se o pressuposto de que os dados seguem uma distribuição normal.

Desta forma, é efetuada a comparação entre os meses onde existem dados sem contaminação para cada um dos parâmetros (COT e pH), como o objetivo é verificar se há interdependência entre os conjuntos de resultados:

- H_0 : As médias dos diferentes grupos são iguais;
- H_1 : As médias dos diferentes grupos são diferentes.

Caso o valor de p seja superior ou igual a 0,05, nível de significância, existe evidência estatística para se aceitar H_0 , ou seja, as médias são todas iguais; se o valor for inferior a 0,05 existe evidência estatística para se afirmar que há pelo menos uma média diferente.

4.3. Outros estudos

Recolha de amostras em pontos chave

Para além de estudar a influência que as atividades exercidas na Unidade Farmacêutica têm nas águas pluviais, é importante conhecer as afluições exteriores à mesma.

Assim, foi recolhida uma amostra em cada um dos seguintes locais exteriores:

- Sumidouro junto à entrada da Unidade Farmacêutica, local que pode receber águas pluviais vindas da estrada municipal;
- À entrada do curso de água artificial (canal) que drena a Unidade Farmacêutica;
- À saída do curso de água artificial que atravessa a Unidade Farmacêutica, a montante da zona de descarga de águas pluviais.

Os locais supramencionados podem indicar, respetivamente:

- Se existe influência negativa das águas pluviais provenientes desta estrada, na rede de drenagem de águas pluviais da Unidade Farmacêutica;
- Se existem influências negativas no curso de água artificial, a montante da mesma;
- Se existem influências negativas no curso de água artificial proveniente de outras fontes, que não as da própria Unidade Farmacêutica.

Considerando o panorama global vivido durante o estudo devido à COVID-19, apenas foi possível retirar e analisar uma amostra de COT em cada um dos locais. A amostra foi recolhida durante um dia chuvoso e após ter ocorrido precipitação intensa.

Questionário online – Prevenção da Poluição de Águas Naturais (em ambiente industrial)

A prática da MTD onde é aconselhada a construção de uma bacia de retenção de águas pluviais, recolhe não só águas pluviais, mas permite também a recolha de derrames e águas de combate a incêndios. No sentido de compreender se esta é uma medida com grande conhecimento em Portugal, foi elaborado, paralelamente ao estudo supramencionado, um questionário online.

O objetivo de tal questionário, foi o de perceber, mediante as empresas relacionadas com a indústria química, se têm algum método de abordagem relativamente à caracterização e descarga de águas pluviais, que escoam nas suas áreas, e qual esse método. Assim, foram

efetuadas questões como, por exemplo, se a água pluvial é considerada como sendo uma água potencialmente contaminada; onde é efetuada a sua descarga; e, caso esta água seja caracterizada, quais os parâmetros usados para tal.

O questionário foi enviado aos associados da APQuímica, Associação Portuguesa da Química, Petroquímica e Refinação, associação cujo propósito é contribuir para uma evolução sustentável e uma melhoria contínua das práticas dos seus associados.

O questionário online encontra-se no Anexo A, do capítulo “Anexos”.

Erros relativos ao analisador de COT

Para além dos registos de COT, a sua base de dados contém todo o historial de erros e avisos. É necessário que estes também sejam analisados, e efetuado o cruzamento entre os mesmos e os registos de COT, quantificando o tempo que os ditos erros e avisos levaram até estar resolvidos.

Este ponto torna-se importante para compreender quais os tipos de erros ou avisos com maior incidência e que levam mais tempo a voltar ao normal, considerando que os mesmos põem em causa a análise contínua do COT.

5. Resultados e Discussão

5.1. Recolha de dados de COT e pH

Na Figura 5.1, encontra-se um gráfico relativo às amostragens contínuas de COT ao longo do tempo, durante o período em estudo.

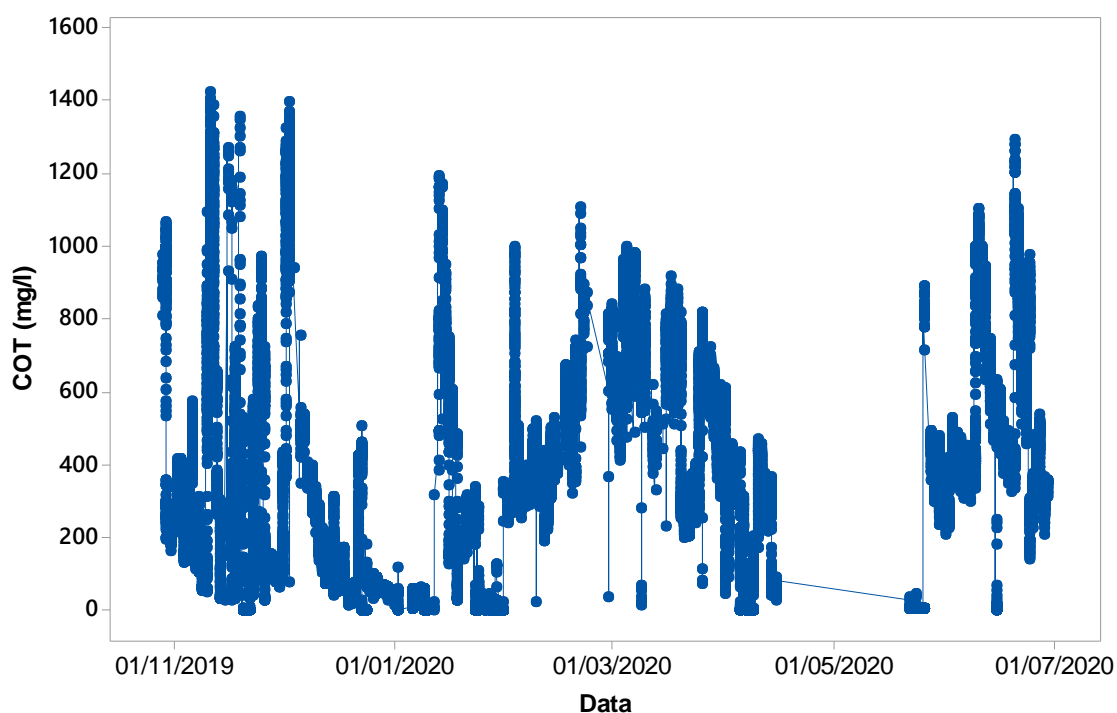


Figura 5.1. - Amostragens contínuas de COT ao longo do tempo.

Analisando o gráfico apresentado, é possível constatar e identificar diversos picos de COT, os quais se podem identificar como sendo correspondentes a situações de ocorrências de contaminações e, por consequência, à existência de incidentes internos, ou a situações de erro do analisador de COT.

Verifica-se ainda, uma falha de dados durante o final do mês de abril e o início do mês de maio, que se deverá ao funcionamento incorreto ou paragem do analisador de COT.

Através da Figura 5.2 é possível observar-se um gráfico relativo às amostragens contínuas de pH ao longo do tempo, durante o período estudado.

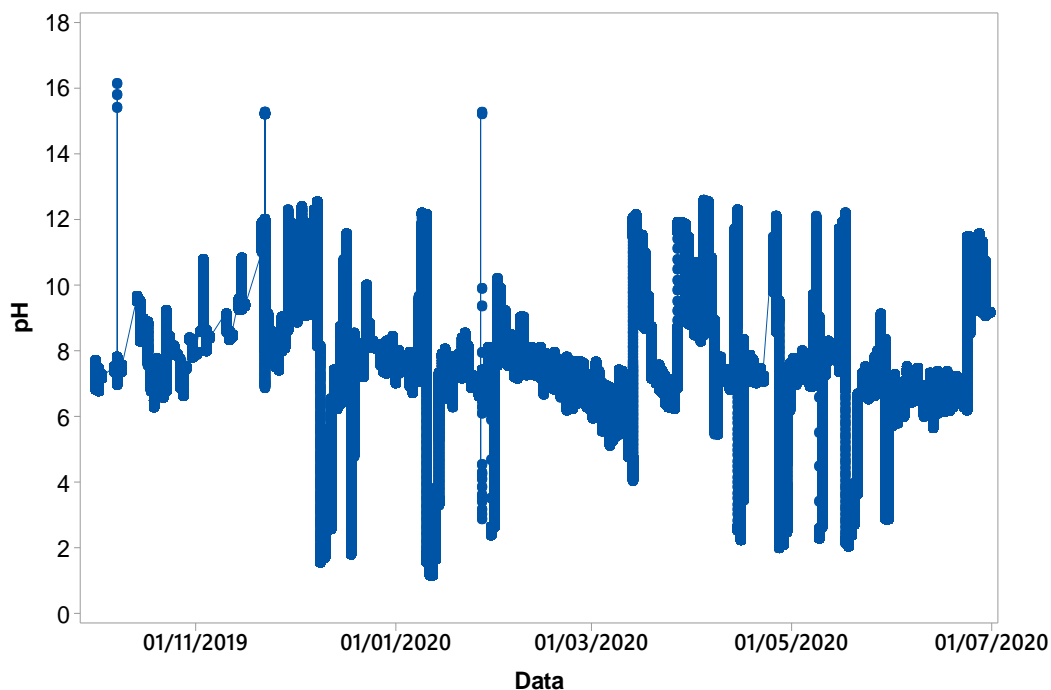


Figura 5.2 - Amostragens contínuas de pH ao longo do tempo.

Através da análise deste gráfico é possível verificar, tal como no gráfico representativo do COT ao longo do tempo, a existência de vários picos, mínimos e máximos, de pH. Constata-se também a existência de *outliers* cujos valores de pH chegam até perto de 16, o que ultrapassa a escala do pH.

Assim, por forma a retirar as amostragens de COT e pH correspondentes a situações de contaminação e, por isso, de ocorrência de incidentes internos, segue-se a avaliação e análise da ocorrência dos mesmos.

5.2. Análise dos incidentes internos

Após análise dos dados constata-se que, durante o período estudado, ocorreram um total de 53 incidentes internos na Unidade Farmacêutica. Na Figura 5.3, é possível visualizar um gráfico de Pareto, onde se apresenta a distribuição e frequência pelas classes de incidentes internos.

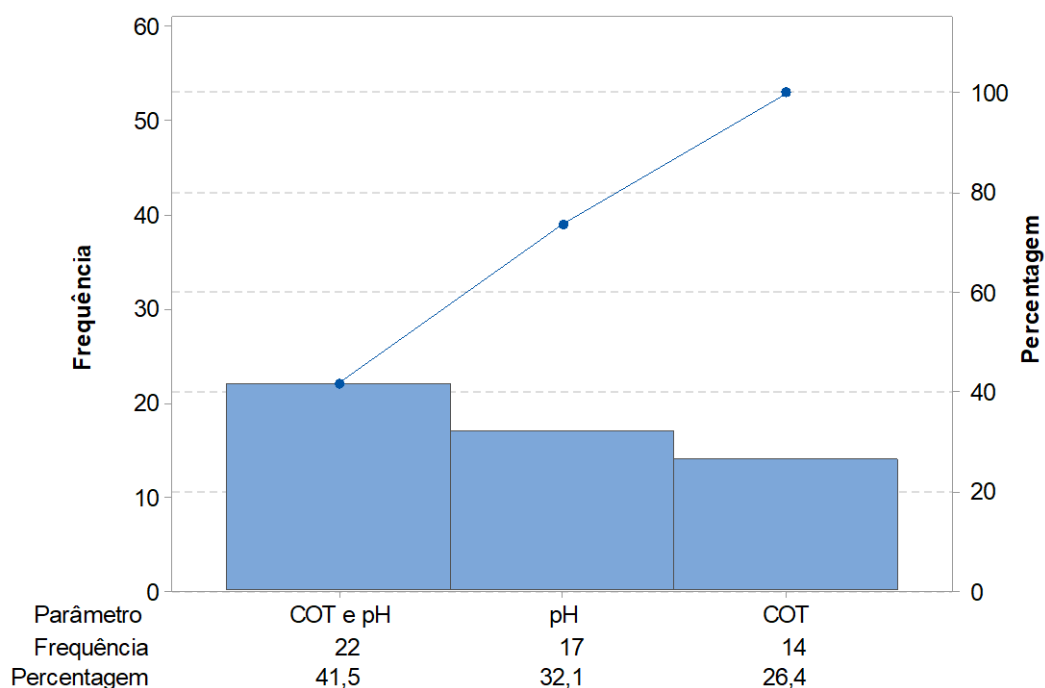


Figura 5.3. – Número de incidentes internos ocorridos na Unidade Farmacêutica.

Verifica-se que, dos 53 incidentes internos identificados, 22 referem-se a incidentes relacionados com COT e pH; 17 relacionados, exclusivamente, com pH; e 14 relacionados, exclusivamente, com COT. No gráfico é possível também observar-se uma linha cumulativa dos incidentes ocorridos, tanto em função da frequência como da percentagem.

De seguida foram analisadas as particularidades dos incidentes internos ocorridos: causa, tempo de prevalência do incidente na bacia de retenção de águas pluviais, e as frequências de ocorrência horária e semanal.

Causa dos incidentes internos ocorridos na Unidade Farmacêutica

Tendo sido relacionados o número de incidentes com as diferentes classes de incidentes internos estabelecidas no capítulo da Metodologia, importa conhecer a causa dos incidentes internos ocorridos.

Na Figura 5.4 encontra-se a distribuição das causas dos incidentes internos ocorridos na Unidade Farmacêutica em estudo.

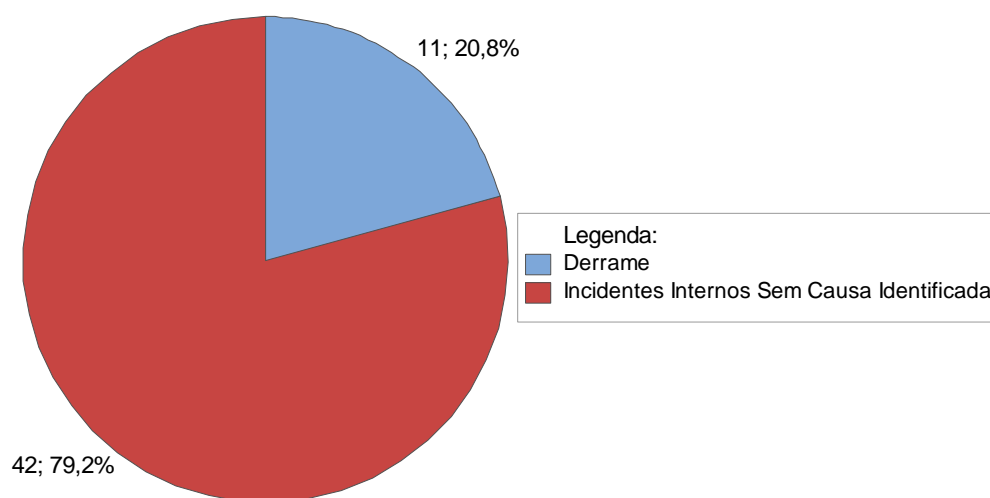


Figura 5.4. – Distribuição da causa dos incidentes internos ocorridos na Unidade Farmacêutica.

Afere-se que apenas são conhecidas as causas de cerca de 20% dos incidentes internos detetados durante o período de estudo, o que corresponde a 11 incidentes, cujo relatório de incidentes foi efetuado pelos operadores que detetaram o incidente.

Isto significa que para 42 dos 53 incidentes internos, não foi possível detetar o motivo que deu origem à contaminação das águas que circulam na rede de drenagem de águas pluviais.

Quanto aos incidentes internos ocorridos devido a derrames, é através dos relatórios efetuados pelos operadores que caracterizam o incidente que é possível averiguar qual a substância envolvida no mesmo. A distribuição destes derrames por substância derramada, observa-se na Figura 5.5.

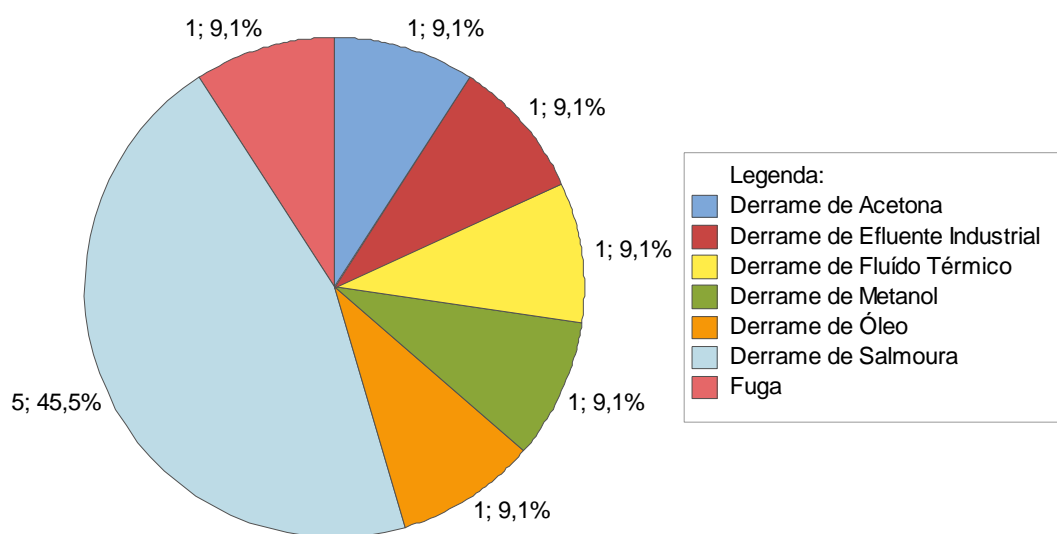


Figura 5.5. – Distribuição dos derrames por substância derramada.

Através da Figura 5.5, verifica-se que a substância que predominantemente se encontra em mais derrames é a salmoura, comumente utilizada pela indústria farmacêutica, tendo em conta que é um fluido de refrigeração industrial, usado para o arrefecimento indireto.

Todos os restantes derrames de substâncias como metanol, óleo, acetona, fluido térmico e efluente industrial, ocorreram, ao longo dos nove meses do período de estudo, de forma pontual.

Relativamente ao derrame caracterizado no gráfico da Figura 5.5 como sendo uma fuga, no relatório efetuado após a deteção do incidente, não é identificado um tipo de substância que particularize este incidente. A mesma é apenas caracterizada como sendo um líquido amarelo cujo pH corresponde a 3 e, desta forma, foi denominado de “fuga”.

A Tabela 5.1 expõe o número de incidentes, caracterizando-os como incidentes com causa identificada ou como incidentes sem causa identificada, pelas classes de incidentes internos: COT e pH; pH; ou COT.

Tabela 5.1. – Número de incidentes com causa identificada e número de incidentes sem causa identificada.

Tipo de Incidente	Número de Incidentes Com Causa Identificada	Número de Incidentes Sem Causa identificada	Total
COT e pH	8	14	22
pH	2	15	17
COT	1	13	14

Verifica-se que a maioria dos incidentes com causa identificada são referentes a incidentes relacionados com ambos os parâmetros estudados, o COT e pH. Já os incidentes exclusivamente relacionados com o COT ou com o pH apresentam um pequeno número de incidentes cuja causa foi possível identificar.

Os incidentes que ocorreram quando os analisadores de COT ou de pH estavam sem leituras foram agrupados como sendo incidentes de pH ou COT, respetivamente. Considerando tal, é de notar que, dos 17 incidentes de pH, 10 ocorreram quando não existiram leituras de COT e que, dos 14 incidentes de COT, 3 ocorreram quando não existiram leituras de pH.

Na Tabela 5.2 é possível verificar a associação entre o tipo de derrame e a classe do incidente associado.

Tabela 5.2. – Associação entre o tipo de derrame e a classe do incidente associado.

Tipo de Derrame	Classe de Incidente Associado	Número de Ocorrências
Acetona	COT e pH	1
Efluente Industrial	COT e pH	1
Fuga	COT e pH	1
Fluído Térmico	COT e pH	1
Metanol	COT e pH	1
Óleo	pH	1
Salmoura	COT e pH; pH; COT	3; 1; 1

Verifica-se que a maioria das substâncias derramadas provocam alterações em ambos os parâmetros, com o aumento de COT e de pH ou diminuição do pH.

É importante referir que o incidente relacionado com pH, onde existiu um derrame de salmoura, corresponde também a um período onde não existiram amostras de COT, pelo que poderá ter também provocado um aumento deste parâmetro, principalmente considerando o facto de que a salmoura corresponde a uma substância com uma elevada componente orgânica.

Valores máximos de COT e pH e valores mínimos de pH atingidos durante os incidentes internos

Apresentadas as causas, é importante relacioná-las com as três diferentes classes, e com os valores máximos de COT e de pH e com os valores mínimos de pH, atingidos durante os respetivos incidentes internos, ocorridos durante o período de estudo

- **COT e pH**

Na Figura 5.6 observam-se os valores máximos atingidos pelo COT no decorrer dos incidentes internos verificados.

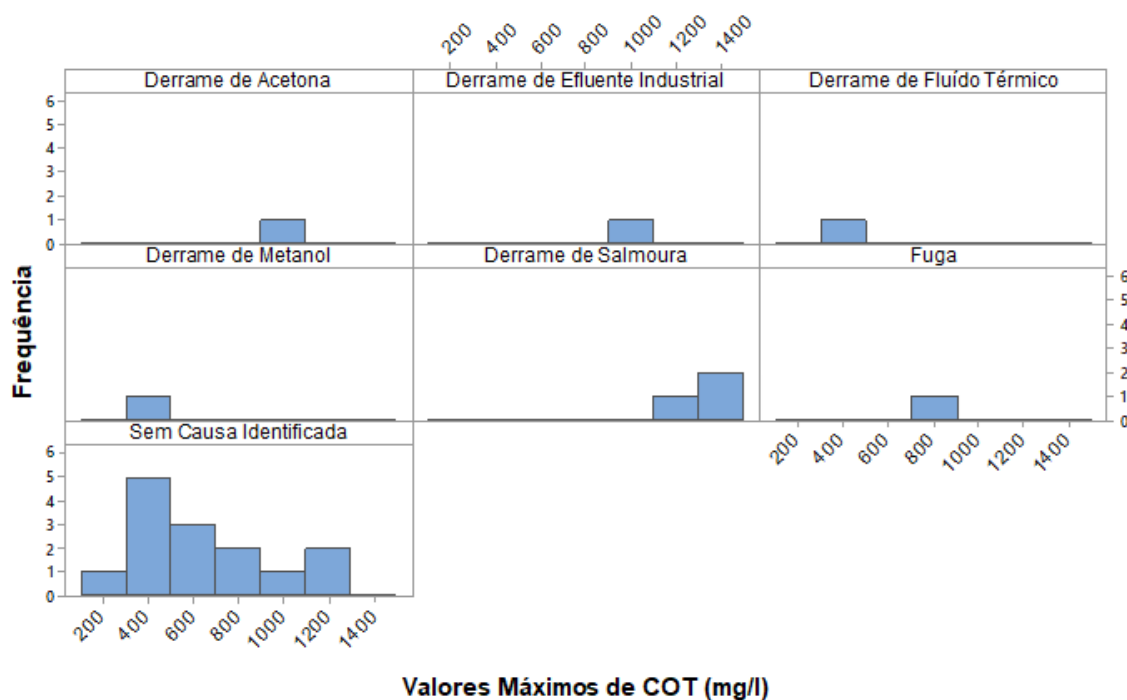


Figura 5.6. – Valores máximos de COT atingidos em incidentes internos de COT e pH.

Analisando os gráficos representados na Figura 5.6, é possível verificar que os incidentes internos relacionados com derrames de acetona, salmoura e efluente industrial estão associados valores muito elevados de COT, cujos máximos se encontram entre os 1000 mg/l e os 1400 mg/l.

Relativamente aos incidentes internos cuja causa não é possível identificar, verifica-se que os seus máximos são bastante variáveis. Existe, apenas, um aglomerado de 5 incidentes entre os 300 mg/l e os 500 mg/l.

Assim, considerando o elevado número de incidentes internos a partir da gama dos 300 mg/l, torna-se extremamente importante aferir qual poderá ser a razão da existência dos mesmos.

Na Figura 5.7 é possível verificar os valores mínimos ou máximos atingidos pelo pH durante a ocorrência dos respetivos incidentes

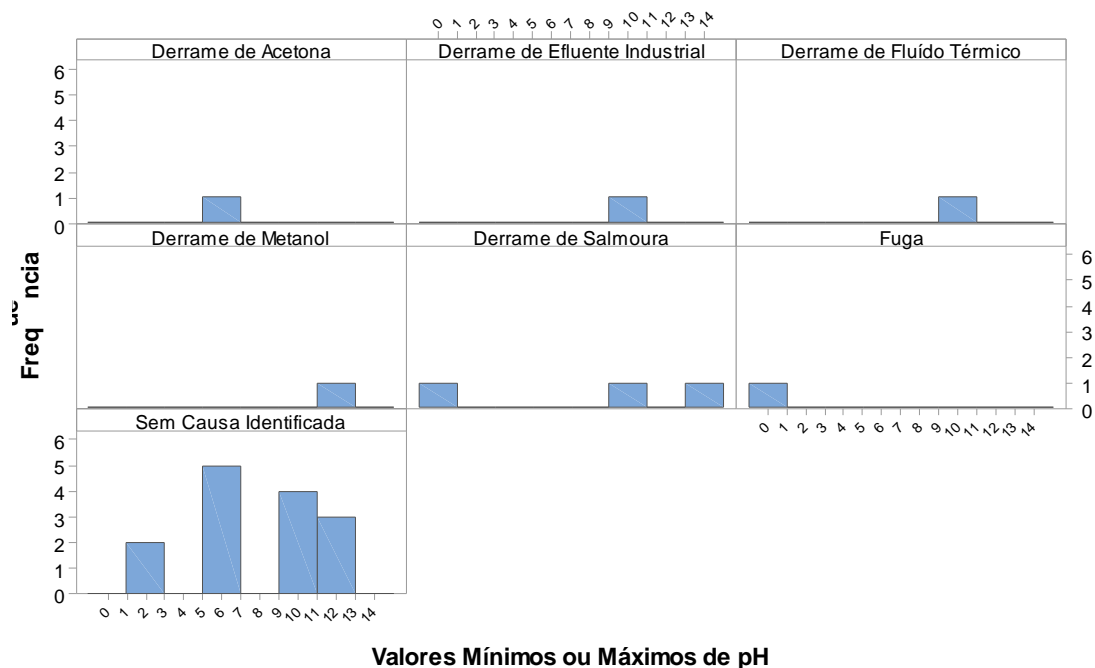


Figura 5.7 – Valor mínimos e valores máximos de pH atingidos em incidentes internos de COT e pH.

Analisando a Figura 5.7, observa-se que, a fuga relacionada com o derrame de um líquido amarelo com pH igual a três, e um dos derrames de salmoura, apresentam os derrames cujo valor mínimo registrado de pH, é o menor.

Relativamente, aos derrames de salmoura, através da leitura do gráfico, existem três valores registrados em gamas de valores diferentes. Dois dos valores registrados, encontram-se nos extremos opostos da escala do pH.

De acordo com os resultados apresentados relativos a incidentes sem causa identificada, é notável o número de incidentes com pH mínimo entre os 5 e os 6,5. À parte destes, o maior aglomerado de valores situa-se entre os 9 e os 13. **Erro! Não existe nenhum texto com o estilo especificado no documento.**

•pH

Através da Figura 5.8, é possível verificar os valores máximos e valores mínimos atingidos pelo pH, durante a ocorrência dos incidentes internos caracterizados como sendo exclusivamente de pH.

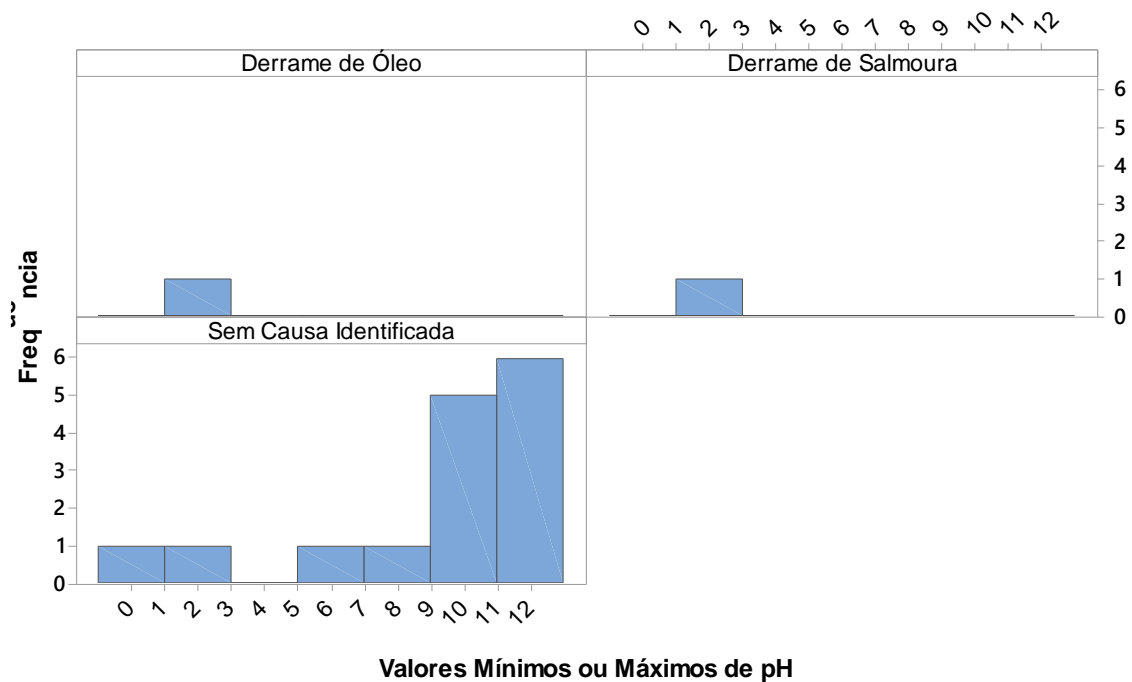


Figura 5.8. – Valores máximos e valores mínimos atingidos em incidentes internos de pH.

A partir da análise do gráfico apresentado na Figura 5.8, observa-se que a maioria do número de incidentes internos atinge valores máximos acima dos 9, o que revela que as substâncias que estejam a causar estes incidentes são caracterizáveis pelo seu elevado pH.

Relativamente ao derrame de salmoura, através da leitura do gráfico, a mesma atinge valores mínimos de pH, tal como num dos casos vistos anteriormente, para a classe de incidentes causados por COT e pH. Tal pode dever-se à interferência de outro tipo de substâncias aquando do incidente interno.

• COT

Na Figura 5.9, apresentam-se os valores máximos atingidos pelo COT, no decorrer dos incidentes caracterizados como sendo exclusivos de COT.

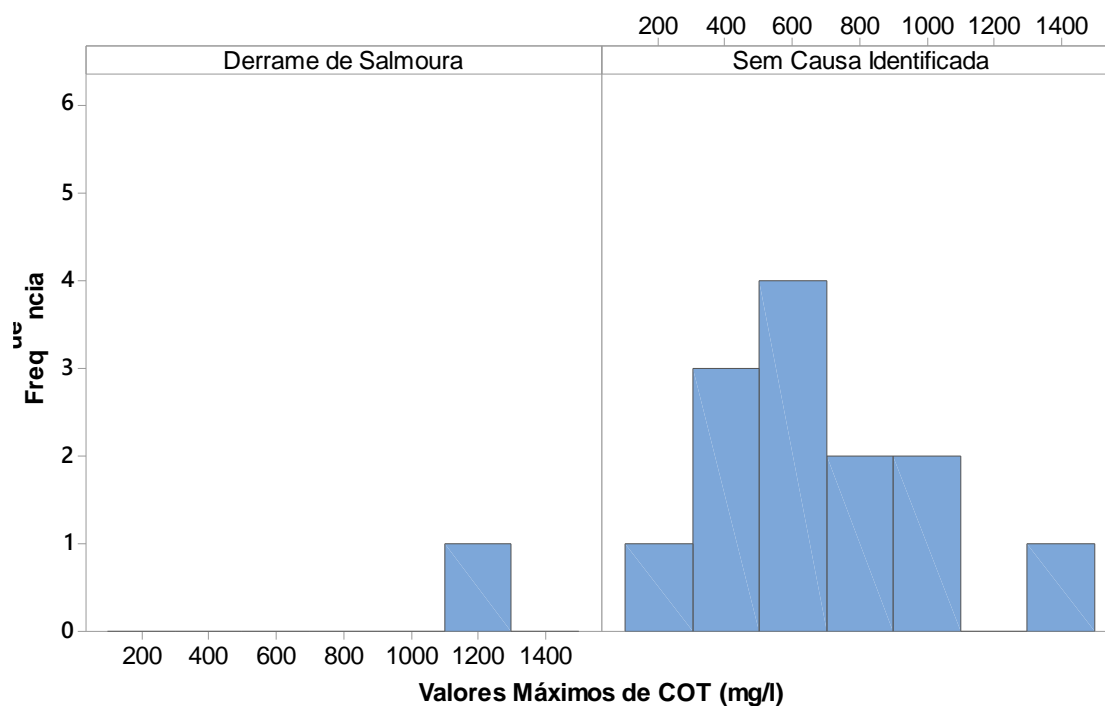


Figura 5.9. - Valores máximos de COT, em incidentes internos de COT.

Observa-se que, relativamente ao derrame de salmoura, se verificaram valores entre os 1100 mg/l e os 1300 mg/l, o que faz sentido, tendo em conta o que anteriormente se observou em derrames de salmoura respeitantes a incidentes internos relacionados com a subida de COT e pH.

À semelhança do ocorrido em incidentes sem causa identificada, na classe de incidentes internos relativos a COT e pH, apenas 1 incidente se encontra abaixo da gama dos 300 mg/l.

Duração dos incidentes internos

De modo a analisar e comparar a distribuição da duração dos incidentes internos identificados, foi realizado um gráfico de *Boxplot*, apresentado na Figura 5.10.

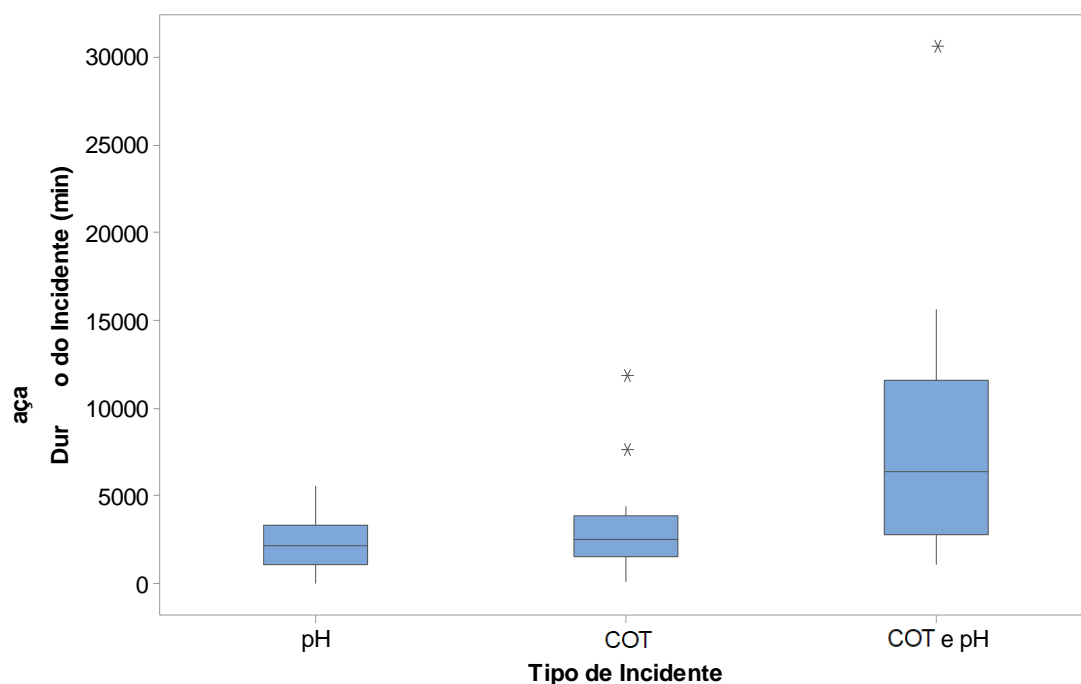


Figura 5.10. - Gráfico de Boxplot representativo da duração do incidente interno em função da sua classe.

É possível verificar que as durações são muito semelhantes entre as diferentes classes de incidentes representadas pelo aumento ou diminuição exclusiva de pH e pelo aumento de COT. No entanto, é na classe dos incidentes de pH que se registam os incidentes internos cuja duração é a menor.

Relativamente à classe de incidentes internos referentes exclusivamente a COT, nota-se a existência de dois incidentes cuja duração foi muito maior e anormal àquela que, por norma, se verificou nos restantes incidentes.

Observa-se ainda que, na ocorrência de um incidente interno provocado pelo aumento ou diminuição de pH e aumento de COT, a prevalência destes incidentes na bacia de retenção de águas pluviais é muito elevada, tendo em conta que esta classe de incidentes pode ser caracterizada pelo elevado tempo verificado até serem estabelecidos valores normais destes dois parâmetros.

Seguidamente, e no sentido de analisar e comparar a distribuição da duração dos incidentes internos com o tipo de causa, é apresentado na Figura 5.11, um gráfico de *Boxplot*.

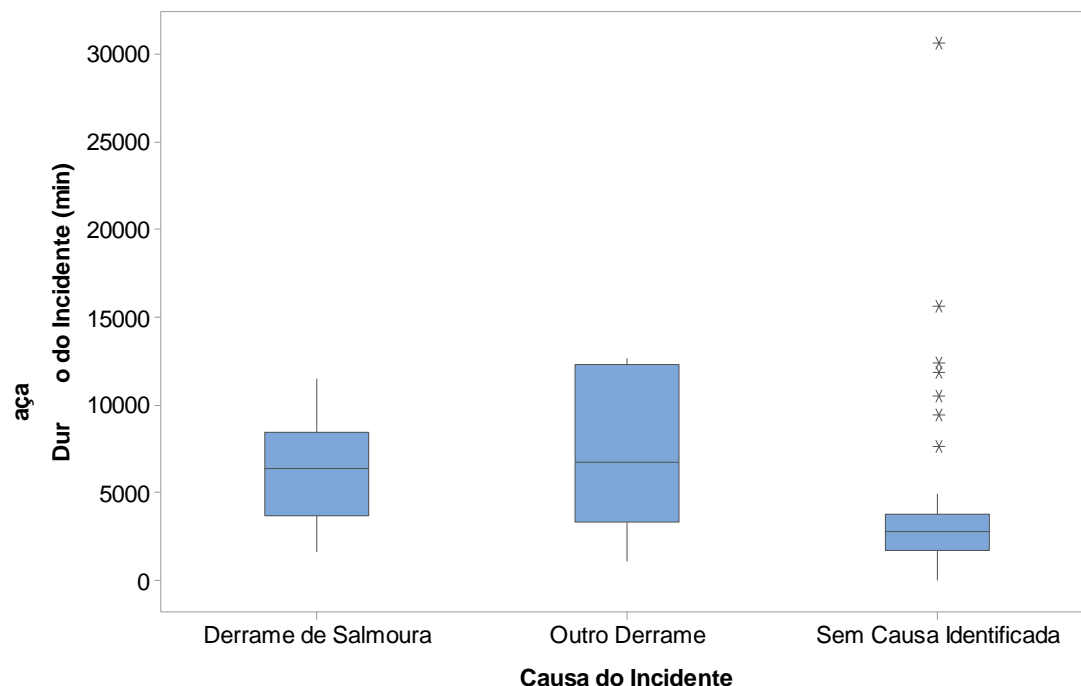


Figura 5.11. - Gráfico de Boxplot representativo da duração do incidente interno em função do seu tipo de causa.

Considerando a existência de cinco derrames de salmoura, foi efetuado um gráfico de *Boxplot* apenas para este. Ao comparar entre derrames, revela-se que, na sua maioria, são caracterizados pelo elevado tempo de prevalência, na bacia de retenção de águas pluviais.

Comparando os incidentes internos com causa identificada com os incidentes internos sem causa identificada, constata-se que as durações são muito menores em incidentes deste último tipo.

No entanto, relativamente a incidentes internos sem causas identificadas existem sete casos específicos e que facilmente se identificam analisando o gráfico, que correspondem a durações maiores do que as habituais, mas pontuais.

Distribuição semanal e horária de ocorrência de incidentes internos

Posteriormente, e por forma a verificar a distribuição dos incidentes em função dos dias da semana, os mesmos foram contabilizados e apresentam-se na Figura 5.12.

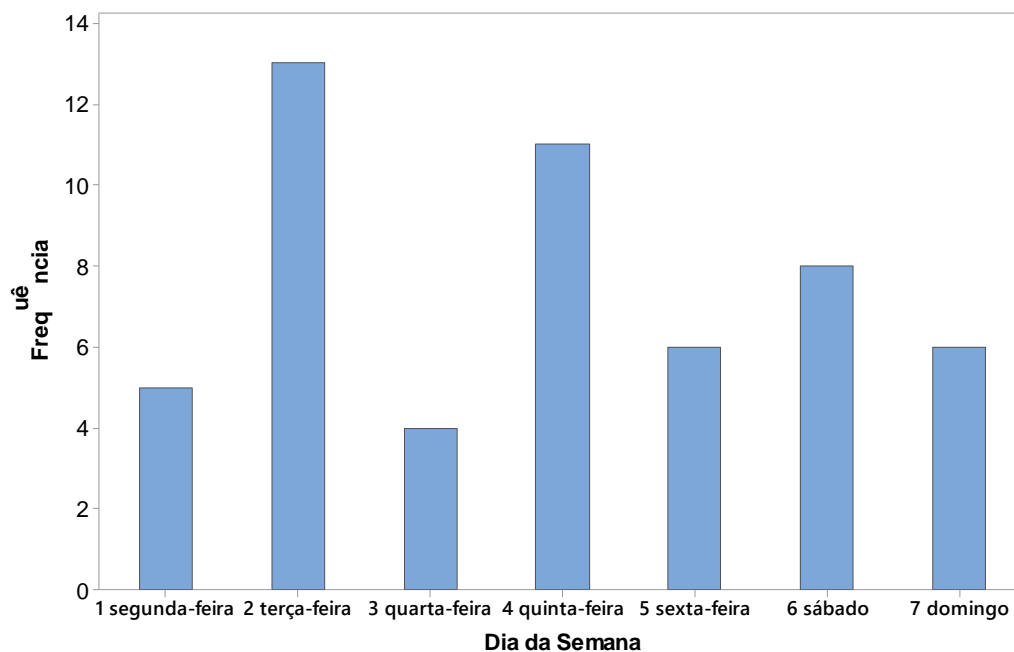


Figura 5.12. - Ocorrência de incidentes internos em função do dia de semana.

Assim, é possível observar que os incidentes ocorrem majoritariamente às terças, quintas e sábados. As menores incidências acontecem às segundas e quartas-feiras.

Durante o estudo dos incidentes, foi também verificada qual a frequência horária dos incidentes internos. Na Figura 5.13 é possível verificar a frequência destes, em função da hora do dia.

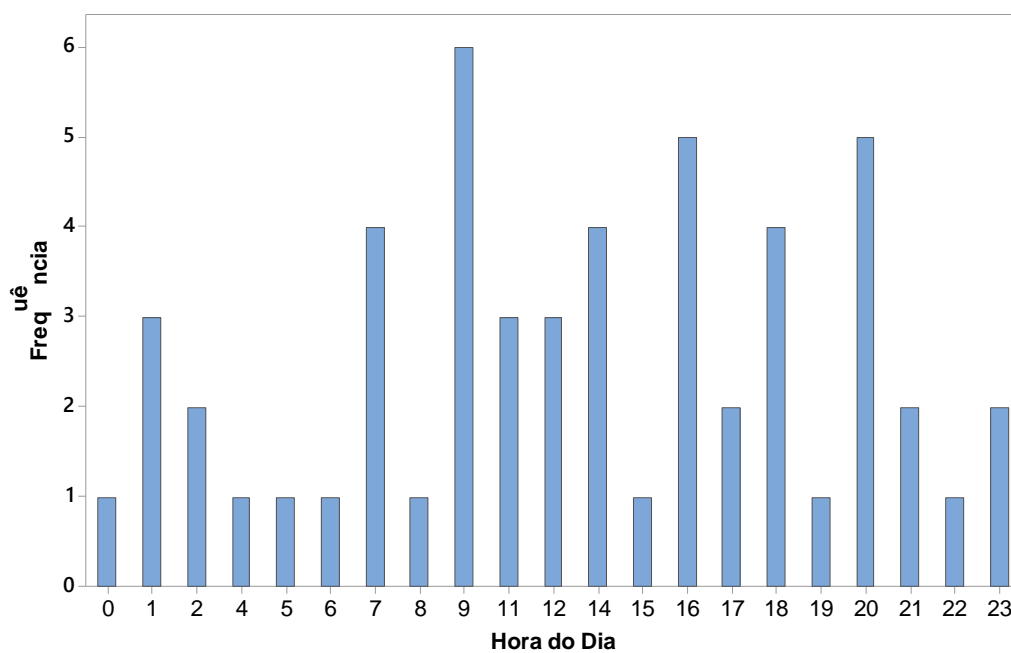


Figura 5.13. – Ocorrência dos incidentes em função das horas do dia.

Constata-se que existe um elevado número de ocorrências às 9 horas, às 16 horas e às 20 horas.

A Unidade Farmacêutica labora em regime contínuo e os seus operadores fabris trabalham em dois turnos, nos quais as entradas e saídas ocorrem às 08h00 e às 20h00. Assim, é possível verificar-se uma clara relação entre as substituições de turnos e a ocorrência de incidentes internos, que deverá ser investigada. Relativamente às restantes horas com maior ocorrência de incidentes, as mesmas apenas poderão ser explicadas através de um estudo pormenorizado no local.

5.3. Análise dos dados da operação regular

Dados da operação regular e de precipitação

Tendo sido retirados, do volume total de dados, todas as amostras onde se verificava a existência de incidentes internos, as amostragens remanescentes correspondem a situações de operação regular, isto é, livres de contaminação provocada pelas atividades exercidas na Unidade Farmacêutica em estudo ou por outros fatores externos.

A existência de precipitação pode provocar a diluição da água pluvial localizada na bacia de retenção de águas pluviais ou das águas que escoam pela superfície da Unidade Farmacêutica em estudo. Por outro lado, no pior dos casos, pode contribuir para a contaminação das mesmas se, com a água pluvial, forem transportadas substâncias contaminantes.

Desta forma, torna-se importante não só analisar as amostras livres de contaminação, mas também perceber se existe alguma relação entre estas e a precipitação.

Na Figura 5.14 observam-se os gráficos das amostras de COT sem contaminação, e de precipitação horária, durante o mesmo período.

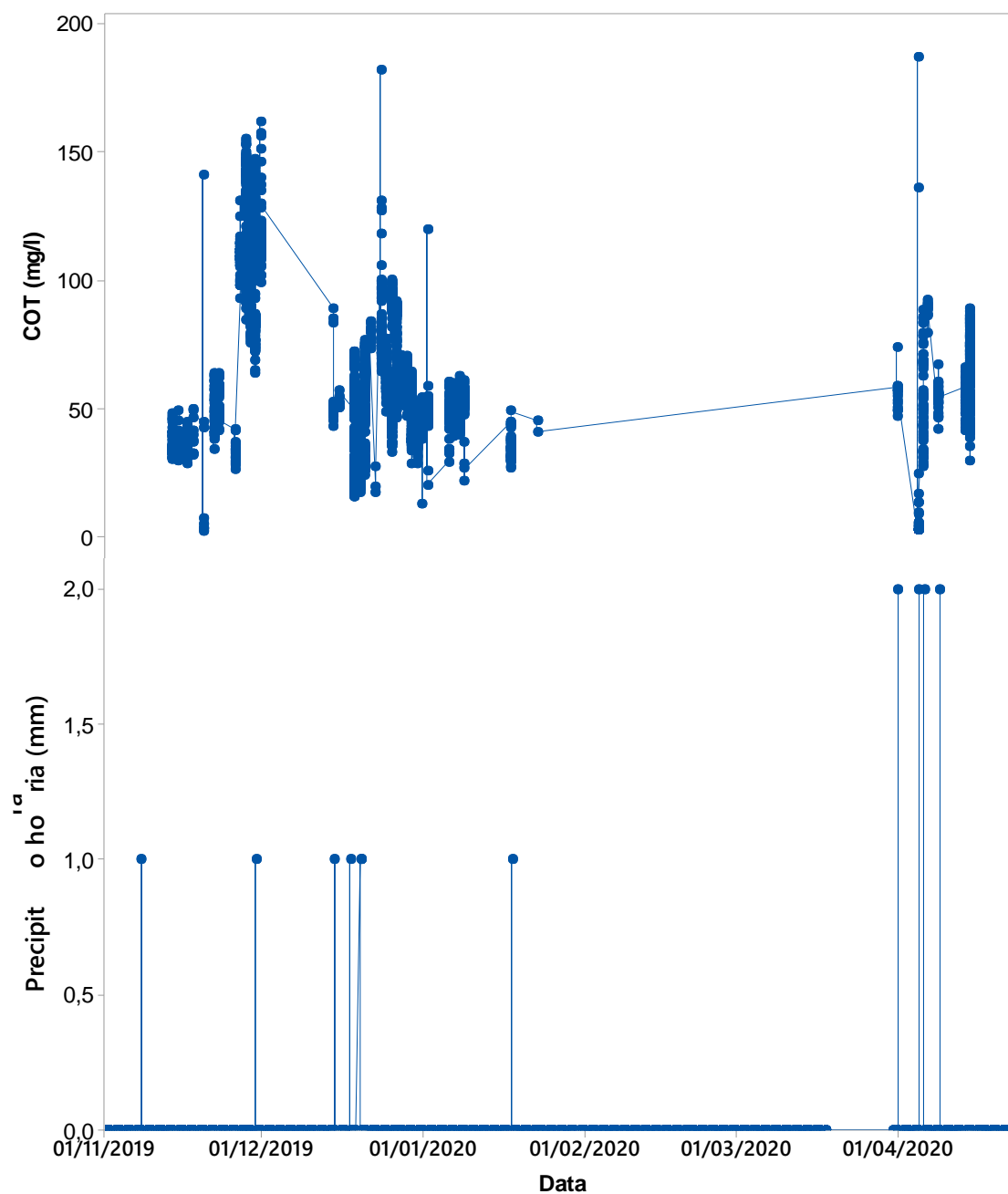


Figura 5.14. – Amostras de COT livres de contaminação, e da precipitação horária, durante o mesmo período.

Através da análise dos gráficos apresentados na Figura 5.14, é perceptível a associação entre os dados de COT sem contaminação e as situações de precipitação. Assim, os dados de COT cujos valores se encontram mais baixos, correspondem, maioritariamente, a situações onde ocorrem fenómenos de precipitação.

É ainda importante destacar que as amostras de COT livres de contaminação se encontram maioritariamente distribuídas entre os meses de novembro, janeiro e abril.

Na Figura 5.15 observam-se os gráficos das amostras de pH sem contaminação, e de precipitação horária, durante o mesmo período.

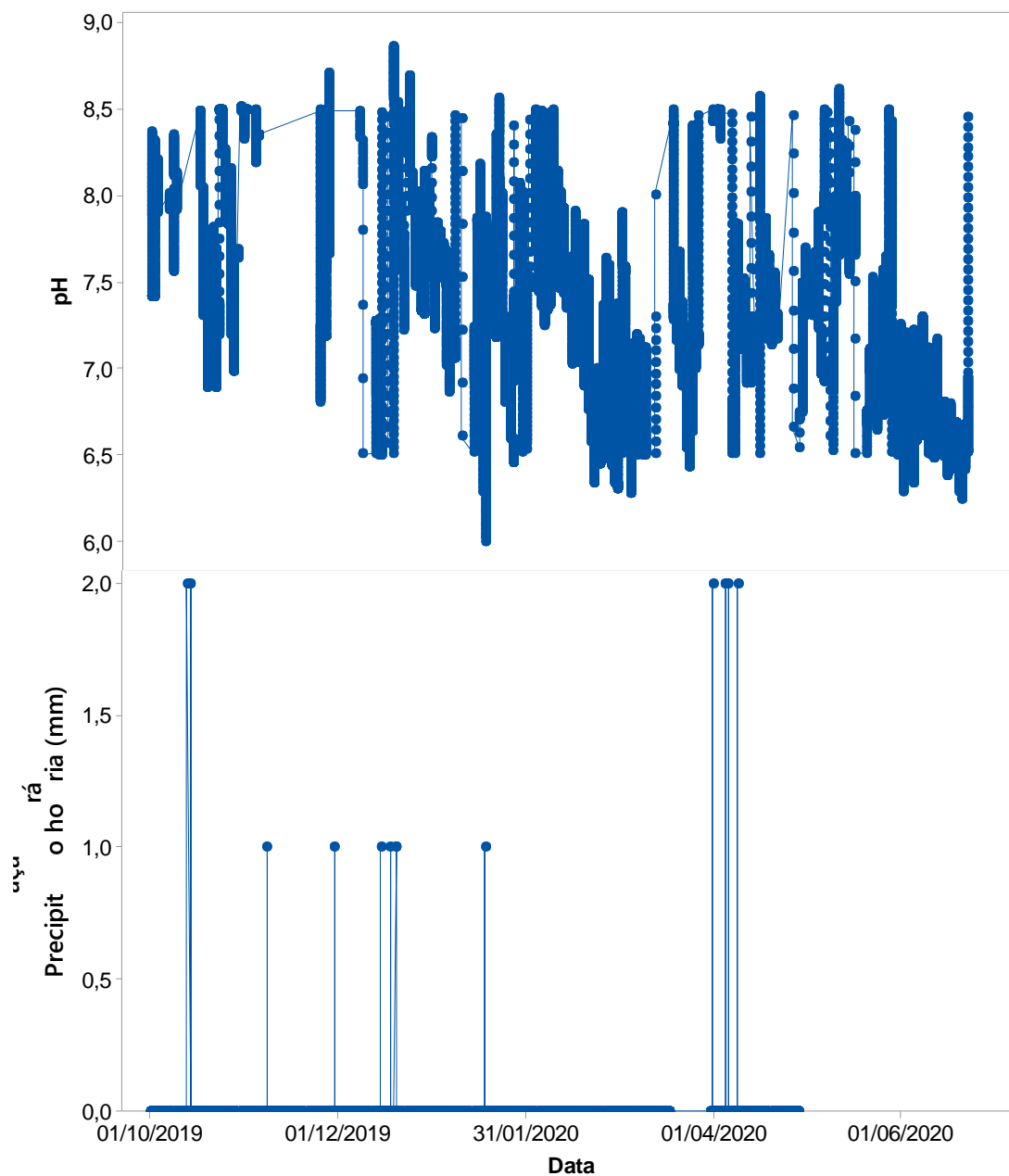


Figura 5.15. - Amostras de pH livres de contaminação, e da precipitação horária, durante o mesmo período

Relativamente às amostras de pH livres de contaminação, não é possível determinar qualquer relação entre as mesmas e a precipitação.

Comparativamente ao gráfico de COT livre de contaminação, observa-se que o volume de amostras e a distribuição das mesmas durante os meses estudados, é muito mais equilibrada do que a do COT.

Finalmente, é de notar a fraca precipitação ocorrida entre os meses de outubro e abril, relativamente ao ano hidrológico em estudo.

Cálculo dos valores de atuação

Tendo como base o “*Guidance on the Setting of Trigger Values for Storm Water Discharges to Off-site Surface Waters at EPA IPPC and Waste Licensed Facilities*”, foram calculados os valores de atuação para os parâmetros estudados.

- **COT**

Na Tabela 5.3 apresentam-se os valores da média e desvio padrão, e do cálculo dos níveis de alerta e de ação, para o parâmetro COT.

Tabela 5.3. - Média, desvio padrão e valores de atuação calculados para o COT.

	COT (mg/l)
Média (\bar{X})	63,32
Desvio Padrão (σ)	28,00
Nível de Alerta Calculado	55,99
Nível de Ação Calculado	83,99

- **pH**

Na Tabela 5.4 são exibidos os valores da média e desvio padrão, e do cálculo dos valores limite de alerta e de ação, para o parâmetro pH.

Tabela 5.4. - Média, desvio padrão e valores de atuação calculados para o pH.

	pH
Média (\bar{X})	7,36
Desvio Padrão (σ)	0,53
Nível de Alerta Calculado	6,31 < pH < 8,41
Nível de Ação Calculado	5,78 < pH < 8,94

Valores de atuação propostos

Tendo em conta os valores de atuação calculados, os níveis de alerta e ação automática das válvulas de descarga de águas pluviais propostos para a Unidade Farmacêutica, são os seguintes:

Nível de Alerta:

- 55 mg/l, para COT;
- 6,5 a 8 para pH;

Nível de Ação:

- 80 mg/l, para COT;
- 6 a 9 para pH.

Verificação da normalidade através do Teste Anderson-Darling

A fim de verificar se os dados livres de contaminação seguem uma distribuição normal, foi efetuado o teste de Anderson-Darling.

Na Figura 5.16, observa-se um gráfico de probabilidade relativa aos dados de COT sem contaminação e o valor de p.

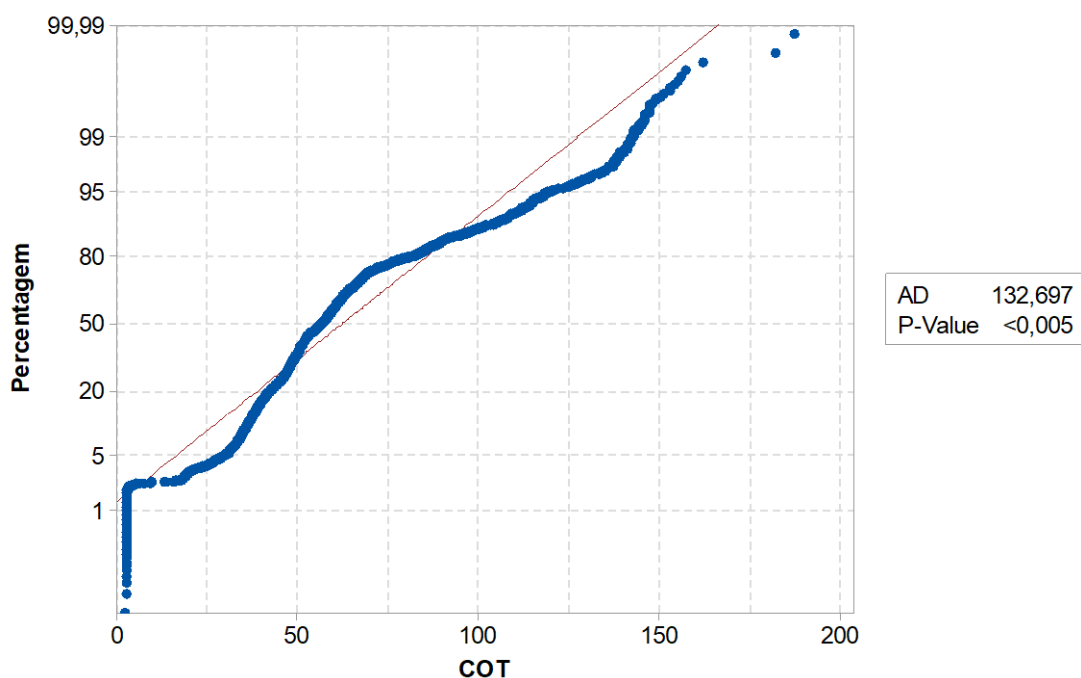


Figura 5.16 – Gráfico de probabilidade de COT sem contaminação.

Verifica-se que o valor de p é menor do que o nível de significância de 0,05, pelo que se rejeita a hipótese nula. Nesse sentido, não é possível concluir-se que os dados seguem uma distribuição normal.

Na Figura 5.17, são apresentados um gráfico de probabilidade relativa aos dados de pH sem contaminação e o valor de p .

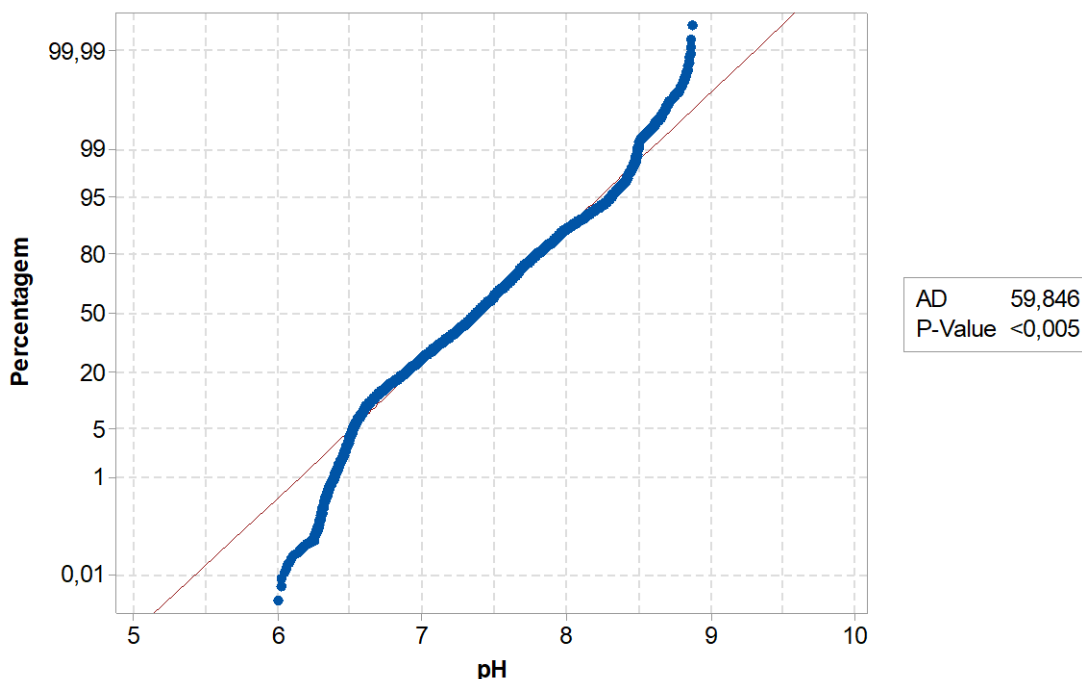


Figura 5.17. - Gráfico de probabilidade de pH sem contaminação

A partir do gráfico apresentado na Figura 5.17, verifica-se um valor de p menor do que o nível de significância de 0,05. Assim, é rejeitada a hipótese nula, concluindo-se que os dados não seguem uma distribuição normal.

Teste ANOVA

Tendo sido realizado o teste de Anderson-Darling e concluído que, tanto os dados referentes a COT como a pH, não seguem uma distribuição normal, não foi possível efetuar o teste ANOVA.

5.4. Outros resultados

Recolha de amostras COT em Pontos Chave

Os resultados das análises de COT às três amostras recolhidas no sumidouro junto à entrada da Unidade Farmacêutica, na entrada do curso de água artificial e a montante da saída do curso de água artificial da Unidade, são apresentados na Tabela 5.5.

Tabela 5.5. - Resultados da análise de COT às amostras recolhidas nos pontos chave.

Locais de Recolha de Amostras	COT (mg/l)
Sumidouro junto à entrada da Unidade Farmacêutica	56
Entrada do curso de água artificial na Unidade Farmacêutica	32
A montante da descarga de águas pluviais no curso de água (canal) artificial da Unidade Farmacêutica, no exterior da mesma	1020

Apesar deste ser um ponto fulcral para o estudo, tendo em conta que é importante entender de que forma e se as condições exteriores à Unidade Farmacêutica implicam contaminação às águas que circulam na rede de drenagem de águas pluviais, o número de amostras não é, de todo, representativo.

No entanto, verifica-se uma diferença muito elevada entre a concentração do COT na entrada do curso de água artificial e a montante da descarga de águas pluviais no curso de água artificial da Unidade Farmacêutica. Esta diferença deve ser verificada e encontrada representatividade suficiente para que se possa tirar conclusões.

Resultados do questionário online – Prevenção da Poluição de Águas Naturais (em ambiente industrial)

Relativamente aos resultados do Questionário Online, enviado através da APQuímica, foi obtido um total de nove respostas, por parte de três indústrias diferentes. Na Figura 5.18 é apresentado um gráfico com o número e tipo de indústria que respondeu ao dito questionário.

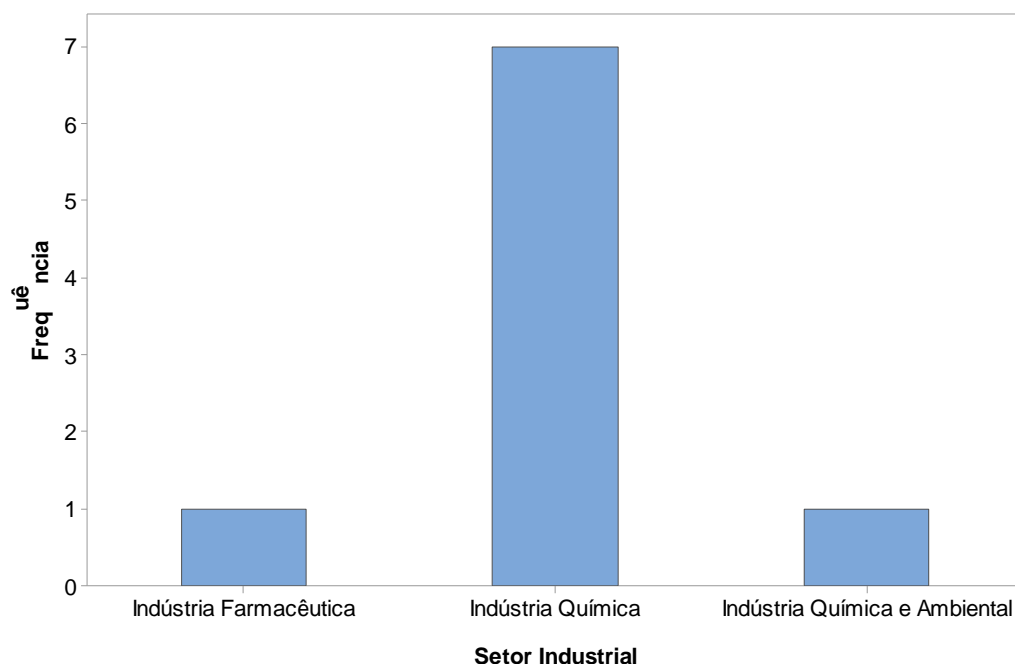


Figura 5.18. - Número e tipo de indústria que respondeu ao Questionário Online.

Assim, verifica-se a existência de uma resposta de uma indústria relativa à farmacêutica e à indústria química e ambiental e sete respostas provenientes da indústria química. Destas nove instalações, todas elas possuem sistemas individuais para a drenagem dos efluentes residuais industriais e domésticos, e de água pluvial.

Na Figura 5.19, observa-se a distribuição de respostas relativamente ao local de descarga das águas pluviais provenientes das instalações fabris.

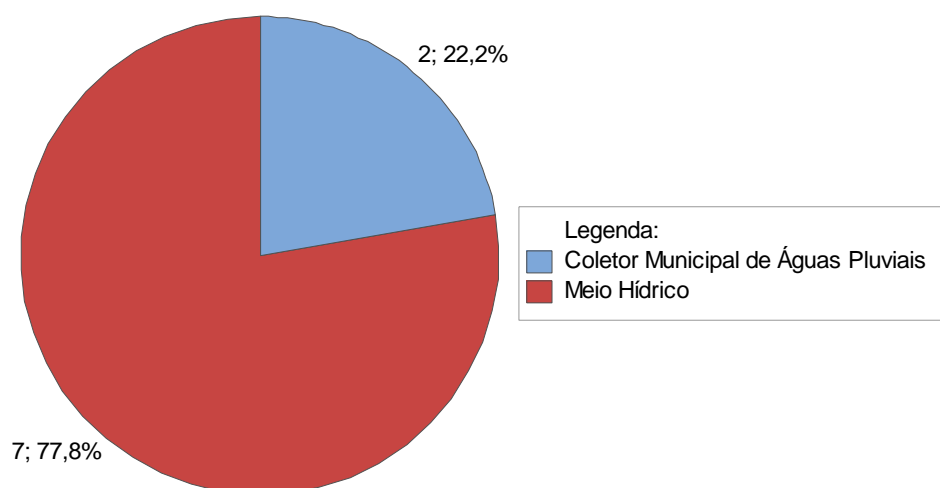


Figura 5.19. – Resposta relativa ao local de descarga de águas pluviais.

Apenas duas indústrias descarregam a água pluvial para o coletor municipal de águas pluviais, as restantes encaminham as suas águas pluviais diretamente para o meio hídrico.

Através da Figura 5.20, verifica-se a forma sobre a qual a água pluvial é caracterizada, em termos de contaminação, nas instalações das indústrias inquiridas.

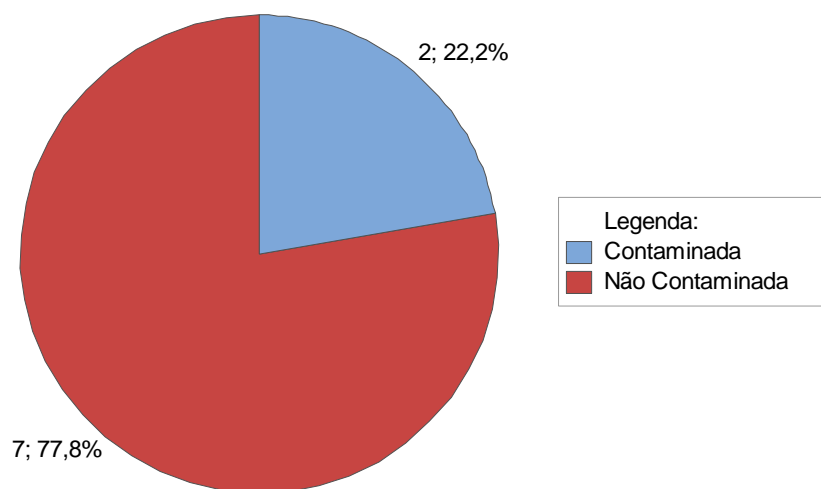


Figura 5.20 – Resposta relativa à caracterização das águas pluviais drenadas nas instalações fabris.

O gráfico representado na Figura 5.20 corrobora o gráfico apresentado na Figura 5.19. Tendo em conta que existem cinco instalações a descarregar diretamente as águas pluviais no meio hídrico recetor, as mesmas consideram a água pluvial como uma água livre de contaminação. As restantes, como expectável, consideram as suas águas pluviais como águas potencialmente contaminadas.

Na Figura 5.21 estão representadas as respostas à questão relativa ao tipo de sistema de análise de qualidade de águas pluvial instalado na respetiva instalação, caso a mesma o possua.

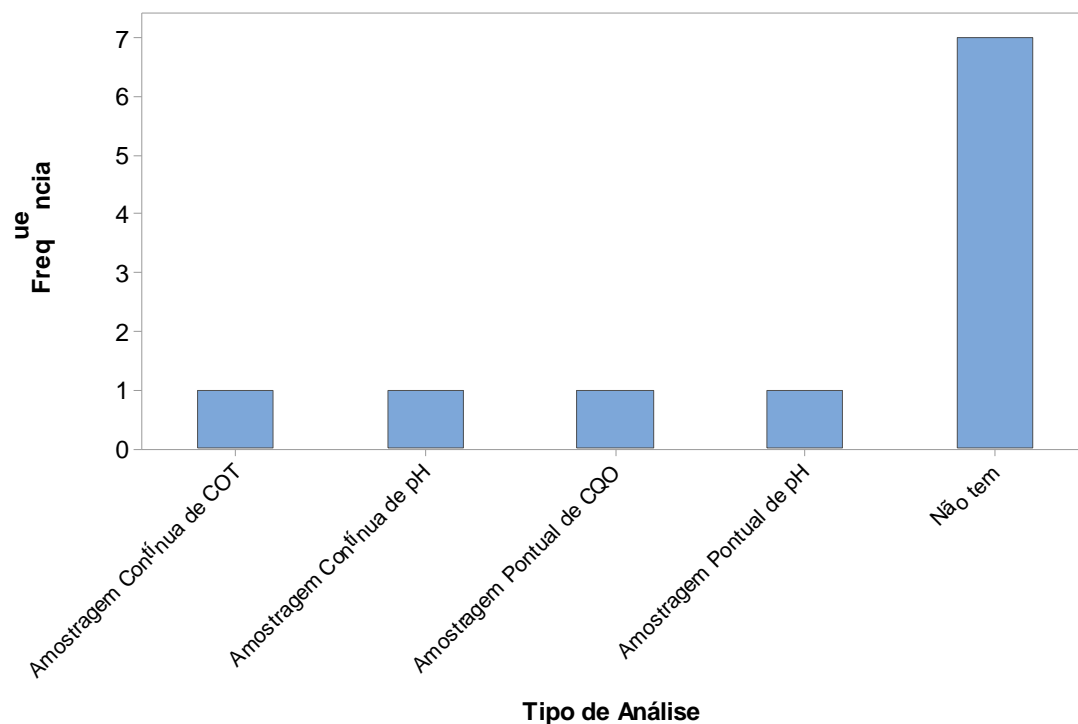


Figura 5.21. – Resposta relativa ao tipo de sistema de análise de qualidade de água pluvial.

Afere-se que apenas as duas indústrias que caracterizam as águas pluviais como águas potencialmente contaminadas, apresentam sistemas de análise da qualidade das águas pluviais, tal como esperado.

Uma das indústrias efetua esta análise através de amostragens contínuas de COT e de pH e a segunda indústria analisa as suas águas pluviais através de amostragens pontuais de CQO (Carência Química de Oxigênio) e amostragens pontuais de pH.

Por último, na Figura 5.22 regista-se graficamente as respostas obtidas à questão relativa ao método de desvio ou contenção, por forma a reter a água contaminada e/ou substâncias perigosas provenientes de um incidente interno, como por exemplo um derrame ou de um incêndio.

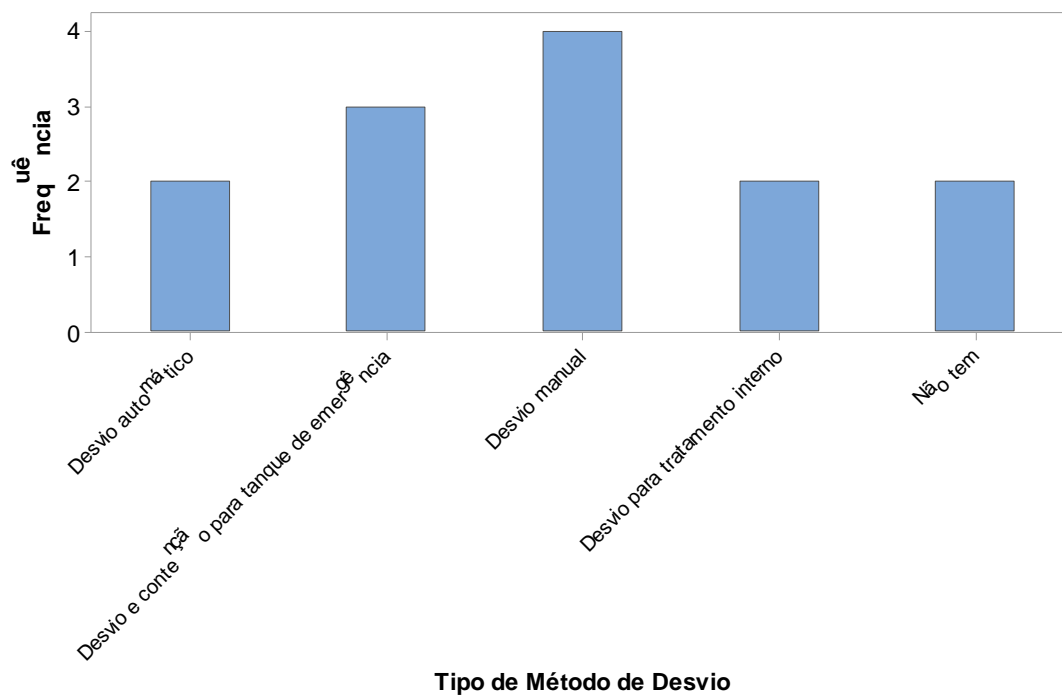


Figura 5.22. – Resposta relativa ao método de desvio ou contenção, em caso de incidentes internos ou incêndios.

Constata-se que duas das indústrias não dispõe de qualquer método de desvio ou contenção caso ocorram incidentes internos. As restantes dispõem de desvios para contenção de acionamento automático ou manual, desvios para tratamento na ETAR ou desvio e contenção para bacias ou tanques de emergência.

Erros relativos ao analisador de COT

Os erros detetados durante o período de análise encontram-se identificados na Tabela 5.6.

Tabela 5.6. - Tabela com os erros relativos ao analisador de COT, detetados durante o período de estudo.

Aviso/Erro	Significado
Erro de Posição da Seringa	Potencial problema na operação de bombear a seringa, que efetua a amostragem de COT.
Erro do Sistema Operacional	Erros que não são especificamente definidos noutro tipo de erros, possivelmente relacionados com fios ou potenciais problemas de comunicação.
Aviso de Fluxo do <i>Stream 2</i>	Aviso para verificar se a água está a fluir no copo de amostra e se a válvula de entrada está ajustada
Erro de Fuga de Líquido no Compartimento Principal	O sensor que deteta possíveis fugas foi acionado devido ao mesmo estar a entrar em contacto com fluídos.

Na Tabela 5.7. encontram-se as durações dos erros do analisador de COT, correspondentes a situações onde não foi possível ocorrer a análise de COT.

Tabela 5.7. – Durações dos erros do analisador de COT.

Aviso/Erro	Duração (min)
Erro de Posição da Seringa	14159
Erro do Sistema Operacional	1370
Aviso de Fluxo do <i>Stream 2</i>	428
Erro de Fuga de Líquido no Compartimento Principal	31
Total	15994

Constata-se que o erro mais predominantemente ocorrido é referente ao erro de posição de seringa, cuja duração é de 14 159 minutos, o que corresponde a cerca de 9 dias.

No total, verifica-se que, durante 15 994 minutos, o correspondente a cerca de 11 dias não foi possível a análise de COT, devido a erros ocorridos com o respetivo analisador.

6. Conclusões

A partir dos resultados obtidos, torna-se necessário refletir sobre a estratégia a adotar em relação ao controlo da qualidade das águas pluviais da Unidade Farmacêutica estudada. Acima de qualquer outra conclusão, é necessário dar continuidade a este estudo, de modo a aumentar a representatividade dos dados obtidos, permitindo também a realização de um acompanhamento *in situ*.

Parte do período do presente estudo ocorreu num período atípico, provocado pela propagação do vírus da COVID-19, durante o qual a Unidade Farmacêutica se viu obrigada a submeter ao teletrabalho todos os trabalhadores cuja presença não fosse imprescindível. O teletrabalho não permitiu fazer um acompanhamento *in situ*, e essa impossibilidade teve implicação em alguns fatores, nomeadamente na recolha de amostras representativas em sítios chave da Unidade Farmacêutica, como por exemplo, a montante da ribeira (canal) ou perto da estrada municipal, a fim de corroborar os valores de atuação. Tal como visto, apenas foi possível retirar uma amostra em cada local e apenas para o parâmetro COT.

Idealmente, e segundo o guia “*Guidance on the Setting of Trigger Values for Storm Water Discharges to Off-site Surface Waters at EPA IPPC and Waste Licensed Facilities*”, a análise dos parâmetros deve ser feita durante um ano, para que o estudo abranja todas as variações sazonais associadas a esse período. Tal não foi possível, tendo em conta o cenário supramencionado e o tempo disponível para o desenvolvimento da dissertação.

Relativamente aos incidentes internos ocorridos, é necessário proceder-se a uma investigação e análise contínua, por forma a compreender a razão pela qual foram identificadas tantas situações de incidentes sem causa identificada, principalmente associadas a casos onde apenas um dos parâmetros apresentou variações muito acima dos valores de atuação com que a Unidade Farmacêutica atualmente opera.

Considerando os 42 incidentes internos sem causa identificada, e os valores máximos de COT e pH e os valores mínimos de pH que a eles estão associados, torna-se muito importante esse estudo.

Tendo em conta o supramencionado, importa referir que existiram intervenções na Unidade Farmacêutica, nomeadamente a nível de construção de edifícios e estradas, algo que poderá ter sido uma fonte de contaminação, tendo em conta os materiais comumente utilizados para obras e a própria deslocação de veículos para o transporte de materiais.

A continuidade deste estudo poderá determinar se esta fonte de contaminação adicional se está a refletir nos resultados obtidos, nomeadamente a nível de incidentes sem causa identificada, e se tal não é representativo em outros períodos onde não existam intervenções na

Unidade Farmacêutica. Adicionalmente, poderá determinar-se se existem outras fontes de contaminação, como fugas ou derrames não detetados, que também podem estar a ser contributivos.

Tendo em conta este último ponto, é fundamental identificar todas as possíveis fontes de contaminação, com vista a diminuir este número. Assim, torna-se necessário que as amostragens em pontos chave da Unidade Farmacêutica sejam efetuadas e que o acompanhamento *in situ* seja realizado, de modo a verificar e identificar prontamente situações de contaminação.

A identificação de locais e situações que possam estar a provocar a contaminação das águas que circulam na rede de drenagem de águas pluviais através de amostragens em variados pontos desta rede, é um ponto fulcral que deve ser verificado. A partir destas amostragens será possível tomar medidas mais exigentes a montante da bacia de retenção de águas pluviais, e estancar possíveis escorrências contaminadas que possam estar a chegar até à mesma.

Quanto à duração dos incidentes, o tempo que cada um demora até se restabelecer a normalidade é relativamente alto, chegando, em alguns casos, a demorar vários dias. Os resultados obtidos indicam que, apesar de sete exceções, são os incidentes internos sem causas identificadas que possuem menores durações. Os incidentes internos relacionados com derrames detêm uma maior prevalência na bacia de retenção de águas pluviais.

É necessário ponderar a adoção de medidas de limpeza desta bacia sempre que exista algum incidente interno com causa identificada. Assim, tornar-se-ia evitável o desvio de águas para tratamento interno ou para o tanque de correção do pH, o que implica um esforço adicional à Unidade Farmacêutica.

É ainda de notar que, à bacia de retenção de águas pluviais, podem estar a chegar águas pluviais, não contaminadas, que são contaminadas pela prevalência destes incidentes ou por lamas, que não chegam a ser lavadas da mesma. Muitas das vezes, até é possível que o aumento dos parâmetros de COT e pH, tenham sido erroneamente tomados como novos incidentes com causa não identificada, no entanto, poderão estar relacionados com lamas que, sem agitação e sem limpezas regulares, ficam depositadas no fundo desta bacia.

Conclui-se que a bacia de retenção de águas pluviais possui uma fragilidade, considerando que a análise da água pluvial é efetuada dentro da mesma. Numa situação na qual existam lamas ou águas pluviais já contaminadas dentro da bacia de retenção das águas pluviais, se chegarem águas pluviais não contaminadas, serão contaminadas pelo que já lá existe.

Uma possível medida a adotar seria proceder-se à análise destas águas a montante da descarga para a bacia de retenção de águas pluviais. Assim, em situações normais, poder-se-ia efetuar o desvio de águas contaminadas para o tanque de correção de pH ou para o tanque de

equalização antes, e apenas águas não contaminadas chegariam até à bacia de retenção de águas pluviais.

Numa linha de pensamento idêntica à supramencionada, outra medida a considerar, seria a adoção de uma das MTD definidas pelo “*Best Available Techniques Reference Document for the Common Wastewater and Waste Gas Treatment/Management Systems in the Chemical Sector*”. Nesta MTD, é aconselhada a construção de um compartimento que retenha as águas provenientes das primeiras chuvadas, cuja concentração de contaminantes é normalmente mais elevada, encaminhando estas águas diretamente para tratamento interno, evitando a contaminação da bacia de retenção de águas pluviais. Este compartimento poderia também ser utilizado no caso de estar a acontecer um pequeno derrame ou fuga, e a mesma fosse detetada em tempo útil.

Estas medidas diminuiriam o volume de água desviada para os tanques de correção de pH e de equalização, ou seja, para tratamento interno, enquanto faria com que não existisse a necessidade tão frequente de se efetuar uma lavagem da bacia de retenção de águas pluviais.

Outro ponto avaliado, foi o horário e dias de semana a que ocorreram os incidentes internos. Quanto aos dias de semana, constata-se uma maior incidência às terças feiras, quintas feiras e sábados, algo que deverá ser investigado, uma vez que a distribuição não é equitativa pelos diferentes dias. Relativamente ao horário, é evidente a relação entre a ocorrência de contaminações e a troca de turnos, pelo que a situação deverá ser investigada de modo a compreender se estas contaminações estarão a ocorrer devido a este fator, e se medidas como o atraso de uma hora entre estes dois turnos, pode ser adotada por forma a reverter esta situação.

Em relação à análise dos dados da operação regular, livres de contaminação, focando no parâmetro COT, verifica-se que a distribuição destes se encontra concentrada entre os meses de novembro, janeiro e abril, correspondentes aos meses onde ocorreram eventos mais intensos de precipitação. Quanto ao pH, não é possível determinar qualquer relação, e apenas se observa que, comparativamente ao COT, existe uma maior dimensão das amostras disponíveis.

Tal poderá ser devido às diferenças de tempo que o COT e o pH demoraram a recuperar para valores normais, tendo sido visto que o pH é o parâmetro que mais rápido o faz. Sublinha-se ainda que o analisador de COT teve muitas paragens devido a anomalias com o aparelho, nomeadamente, nos meses de outubro, abril e maio, o que poderá ter contribuído para esta disparidade relativamente ao número de amostras representativas.

Constata-se que o período de estudo é caracterizado pela reduzida ocorrência de eventos de precipitação. Este ponto é fundamental, tendo em conta que, após períodos secos, a quantidade de substâncias que a água pluvial, ao cair no solo e em superfícies impermeáveis,

pode transportar consigo e, claro, tendo em conta o fator diluição. Mais uma vez, torna-se necessário dar continuidade ao estudo, de modo a compreender melhor este tópico.

Assim, considera-se que os dados relativos aos níveis de alerta, a partir 60 mg/l para o COT, e inferior ou igual a 6,5 e superior ou igual 8 para o pH; e de ação, a partir de 90 mg/l para o COT, e inferior ou igual 6 e superior ou igual 9 para o pH, propostos podem ser considerados e submetidos à apreciação das entidades competentes como sendo dados provisórios, até que se proceda a um estudo contínuo e anual.

É concluído que a distribuição normal não explica o comportamento dos dados relativos a situações de não existência de contaminação. Tal seria expectável, considerando que uma distribuição deste tipo descreveria o comportamento de séries que resultam do somatório de um elevado número de variáveis aleatórias. Neste caso, apesar de existirem variáveis aleatórias, as mesmas não se somam. Isto porque, estes dados, quer para COT quer para o pH, são aquilo que se verifica num determinado dia, a uma determinada hora e fazem parte, por isso, de acontecimentos que não são comparáveis entre si, a não ser, e eventualmente, que se disponha de amostras de maior dimensão e, por isso, com uma maior representatividade.

Relativamente à recolha de amostras em pontos chave, os resultados não são conclusivos, considerando a existência de apenas uma amostra de COT para cada um dos três locais apresentados. No entanto, e tendo em conta que durante o momento de recolha ocorria precipitação há algum tempo, é fundamental verificar a razão pela qual foi registado um valor tão elevado no curso de água artificial que atravessa a Unidade Farmacêutica, a montante da descarga de águas pluviais.

Através do questionário efetuado, é constatado que o objeto de estudo se trata de uma medida pioneira, considerando que apenas duas em nove instalações fabris considera a água pluvial como sendo uma água potencialmente contaminada, e que apenas existiu uma resposta positiva em relação à realização de amostragens contínuas das águas pluviais antes da sua descarga, tendo a mesma sido obtida pela Unidade Farmacêutica em estudo na presente dissertação.

A análise das durações dos erros referentes ao analisador de COT, revela que, durante os nove meses de estudo, este permaneceu sem funcionar corretamente, devido a erros, durante um cumulativo de cerca de 11 dias. A maioria deste tempo está associado a um dos erros que acontece com maior predominância, pelo que deverá ser verificada a razão pela qual tal acontece.

Por ser uma medida pioneira e com poucos estudos sobre a mesma, é normal que se encontrem dúvidas e situações por explicar, sendo necessário um estudo em contínuo, no sentido de melhorar e otimizar a gestão das águas pluviais. A continuidade da análise efetuada durante a realização da dissertação é necessária, para que sejam encontrados padrões no

comportamento do COT e pH ao longo do tempo, e em situações de precipitação; para que a forma como o estudo é feito seja também ela otimizada e melhorada; e para que seja possível corroborar todas as situações onde, na existência de evidências concretas, mas pouco representativas, são feitas suposições relativas ao que poderá ter acontecido.

Além disso, é de sublinhar que a única metodologia definida por entidades ou que se tenha tido conhecimento de já ter sido estudada, é relativa à definição dos valores de atuação. Não existe qualquer metodologia pré-definida para a caracterização e avaliação dos incidentes internos ou para distinguir situações de contaminação das situações de não contaminação, pelo que um estudo contínuo permitirá melhorar e aferir a metodologia definida e utilizada nesta dissertação.

Finalmente, importa destacar que todos os pontos pejorativos supramencionados, não foram, de forma alguma, prejudiciais para o meio ambiente ou para o meio envolvente da Unidade Farmacêutica em estudo. Os valores de atuação praticados pela Unidade Farmacêutica desde que ocorreu a ampliação da rede de drenagem de águas pluviais, permitiram, e continuam a permitir, que as águas pluviais potencialmente contaminadas não sejam descarregadas diretamente no meio aquático recetor, por forma a que estas sejam previamente tratadas.

No entanto, torna-se viável a reflexão, a análise *in situ* e a adoção de medidas a montante mais exigentes, como as mencionadas anteriormente, por forma a que a água pluvial que chega até à bacia de retenção de águas pluviais esteja o menos contaminada possível.

O benefício da adoção destas medidas tornar-se-á notório quando constatado que, a longo prazo, o esforço que a Unidade Farmacêutica em estudo investe no tratamento de águas pluviais diminui, o que se refletirá não só em termos de custos, como na notável melhoria da gestão de águas pluviais.

7. Desenvolvimentos Futuros

Considerando o ano atípico em que se desenvolveu esta dissertação, é fácil reconhecer a existência de algumas questões que poderiam ser exploradas de outra e de melhor forma. À medida que é desenvolvido um trabalho, é também normal encontrar outras e melhores formas de abordar e concretizar o seu objetivo.

Houve a necessidade de fazer alterações no trabalho a desenvolver nesta dissertação: tarefas que deveriam ter sido realizadas *in situ*, foram antes convertidas em teletrabalho, o que alterou e, por consequência, impediu, a execução de algumas delas.

No sentido de completar o estudo e identificar todas as possíveis fontes de contaminação das águas pluviais da Unidade Farmacêutica, seriam retiradas amostras de uma série de locais onde existem sumidouros, ao longo da rede de drenagem de águas pluviais. As amostragens seriam analisadas não só para o parâmetro COT, como para o pH, algo que não foi realizado nas amostras recolhidas durante o desenvolvimento desta dissertação.

Os locais onde se devem recolher amostras, são os seguintes:

- No sumidouro junto à entrada da Unidade Farmacêutica, local que recebe águas pluviais oriundas da estrada municipal;
- À entrada do curso de água artificial na Unidade Farmacêutica, por forma a perceber sob que valores de COT e pH esta água dá entrada;
- No sumidouro mais perto do espaço ajardinado;
- Nos sumidouros mais próximos dos Parques de Solventes, parque onde se armazenam solventes frescos ou residuais, em reservatórios;
- Nos sumidouros mais próximos dos edifícios que fazem parte das unidades produtivas e de laboratórios;
- À saída do curso de água artificial da Unidade Farmacêutica, a montante da zona de descarga.

As amostras devem ser recolhidas em dias úteis e fins-de-semana, e em diferentes horários, para compreender se este aspeto poderá determinar alguma diferença nos resultados obtidos.

Seria também necessário que as amostras fossem recolhidas em diferentes períodos do ano, de modo a reunir amostras em diferentes condições climáticas e, assim, obter representatividade entre períodos mais secos e períodos mais húmidos.

Considerando a elevada carga orgânica que as águas pluviais provenientes das primeiras chuvadas por vezes têm, principalmente após períodos secos prolongados, também este aspeto deverá ser considerado. Desta forma, não só se tornaria necessário retirar amostras durante estas situações, como em situações de precipitação mais prolongada.

Ainda, por forma a completar o estudo, é importante fazer-se uma análise contínua, que permita analisar períodos onde não existam fatores adicionais ao normal funcionamento da Unidade Farmacêutica (como é o caso da construção de edifícios ou estradas) e analisar os diferentes períodos sazonais.

Para além disto, é importante enfatizar que o estudo foi realizado fora da Unidade Farmacêutica, o que não permitiu um conhecimento a fundo das suas particularidade e modo de funcionamento, pelo que é fulcral continuar-se o estudo *in situ*. É algo que também ajudará a encontrar outras e melhores abordagens à problemática.

Finalmente, também seria interessante aplicar a MTD definida pelo “*Best Available Techniques Reference Document for the Common Wastewater and Waste Gas Treatment/Management Systems in the Chemical Sector*”, que se remete à construção de um compartimento que retenha as águas provenientes das primeiras chuvadas ou de situações de pequenos derrames em tempo real. Após aplicada, seria importante estudar sob que forma influenciaria o comportamento dos parâmetros analisados na bacia de retenção de águas pluviais.

8. Referências Bibliográficas

Agência Portuguesa do Ambiente (APA) (2020). *Documentos de Referência sobre MTD (BREF)*. Acedido a 19 de julho de 2020, em: <https://apambiente.pt/index.php?ref=17&subref=151&sub2ref=321>

Agência Portuguesa do Ambiente (APA) (2015). *Plano Nacional da Água*. Gestão do Ambiente e Economia Ecológica.

Agência Portuguesa do Ambiente (APA) (2016). *Plano Nacional da Água 2016*. Gestão do Ambiente e Economia Ecológica.

Agência Portuguesa do Ambiente (APA) (2020). *Plano Nacional da Água*. Acedido a 20 de julho de 2020, em: <https://apambiente.pt/index.php?ref=17&subref=151&sub2ref=321>

Aryal, R.; Vigneswaran, S.; Kandasamy, J. & Naidu, R. (2010). *Urban Stormwater Quality and Treatment*. Korean Journal of Chemical Engineering. Doi: 10.1007/s11814-010-0387-0

BAT REference Document (BREF). (2006). *Reference Document on Best Available Techniques for the Manufacture of Organic Fine Chemicals*. Integrated Pollution Prevention and Control. European Commission.

Brinkmann, T., Santonja, G., Yukseler, H., Roudier, S., Sancho, L. (2016). *Best Available Techniques Reference Document for the Common Wastewater and Waste Gas Treatment/Management Systems in the Chemical Sector*. JRC Science for Policy Report. European Commission.

Choe, J. S., Bang, K. W., & Lee, J. H. (2002). *Characterization of Surface Runoff in Urban Areas*. *Water Science and Technology*, 45(9), 249–254. DOI:10.2166/wst.2002.0251

Chow, M., Yusop, Z. & Shirazi, S. (2013). *Storm Runoff Quality and Pollutant loading from Commercial, Residential, and Industrial Catchments in the Tropic*. Environmental Monitoring and Assessment, 185:8321–8331. DOI 10.1007/s10661-013-3175-6

Decreto Lei nº152/197 de 19 de junho. Diário da República nº 139/1997, Série I-A. Ministério do Ambiente. Lisboa

Directiva 2008/1/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 15 de janeiro de 2008. Jornal Oficial da União Europeia. L 24/8

Duke, L. & Shannon, J. (1992). *Best Management Practices of Industrial Storm Water Pollution Control*. The Sacramento Stormwater Prevention Program.

Environmental Protection Agency (EPA). (1995). *Guidance Note to Industry on the Requirements for Fire-Water Retention Facilities*. Office of Environmental Enforcement. Ireland.

Environmental Protection Agency (EPA). (2012). *Guidance on the Setting of Trigger Values for Storm Water Discharges to Off-Site Surface Waters at EPA IPPC and Waste Licensed Facilities*. Office of Environmental Enforcement. Ireland.

Environmental Protection Agency (EPA). (2009). *Developing Your Stormwater Pollution Prevention Plan*. Acedido em 24 de julho de 2020, disponível em: https://static1.squarespace.com/static/574e0e6cf699bb64ddb21c57/t/57bf4695414fb512d1456ca2/1472153268573/EPA_industrial_swppp_guide.pdf

Fretwell, J., Williams, J. & Redman, P. (1996). *National Water Summary on Wetland Resources*. United States Geological Survey. Water-Supply Paper 2425. Washington D.C.

Gadipelly, C., Pérez-González, A., Yadav, G. D., Ortiz, I., Ibáñez, R., Rathod, V. K., & Marathe, K. V. (2014). *Pharmaceutical Industry Wastewater: Review of the Technologies for Water Treatment and Reuse*. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 53(29), 11571–11592. doi:10.1021/ie501210j

Government of Western Australia – Department of Water (n.d.). *Stormwater Management at Industrial Sites*. Western Australia

Guedelha, D. (2018). *Pharmaceutical Cluster in Portugal and Michael Porter Diamond Theory*. Business Case Study. Deloitte

Health and Safety Executive (HSE). (1995). *The Control of Fire-Water Run-off from CIMAH Sites to Prevent Environmental Damage*. Guidance Note EH70.

Hwang, B. (n.d.). *Industry-Specific Performance Benchmarking: Pharmaceutical Construction Projects*. Department of Building, School of Design and Environmental. National University of Singapore. Singapore

International Organization for Standardization (ISO). (2012). *Event Sustainability Management Systems – Requirements with Guidance for Use*. Technical Management Board. Environmental Economics. 20121:2012

Kreamer, R., Choudhury, K. & Kampa, E. (2001). *Protecting Water Resources: Pollution Prevention*. International Conference on Freshwater. Bonn.

Lei nº 58/2005 de 29 de dezembro. Diário da República n.º 249/2005, Série I-A de 2005-12-29

Lencastre, A. & Franco, F. (1984). *Lições de Hidrologia*. Universidade Nova de Lisboa. Faculdade de Ciências e Tecnologia. Lisboa

National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. (2019). *Improving the EPA Multi-Sector General Permit for Industrial Stormwater Discharges*. Washington, DC: The National Academies Press. Doi:

OECD. (2001). *Environmental Outlook for the Chemicals Industry*. Organisation for Economic Co-Operation and Development. Paris

Shah, A., & Shah, M. (2020). *Characterisation and bioremediation of wastewater: A review exploring bioremediation as a sustainable technique for pharmaceutical wastewater*. Groundwater for Sustainable Development, 11, 100383. doi: 10.1016/j.gsd.2020.100383

Sikorova, K. & Bernatik, A. (2018). *Analysis of Firewater Runoff in SEVESO Chemical Plant*. The Italian Association of Chemical Engineering Online. Chemical Engineering Transactions. Vol. 67. DOI: 10.3303/CET1867041

Scottish Environment Protection Agency. (SEPA). (n.d.). *Pollution Prevention Guidelines – Managing Fire Water and Major Spillages: PPG18*. Environment and Heritage Service.

Vieira, J. (2003). *Gestão da Água em Portugal. Os Desafios do Planos Nacional da Água*. Universidade do Minho. Gualtar, Braga.

Vince, I., Sargent, B., Ramsden, N. & Moore, T. (2007). *Major Accidents to the Environment*.

9. Anexos

Anexo A – Questionário: Prevenção da Poluição de Águas Naturais (em ambiente industrial)

Questionário - Prevenção da Poluição de Águas Naturais (em ambiente industrial)

Este questionário foi elaborado no âmbito da minha dissertação de mestrado em Engenharia Sanitária, na Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa.

A dissertação tem como objetivo o estudo da caracterização da qualidade da água pluvial afluente de uma instalação farmacêutica a fim de estabelecer valores de atuação automática para descarga de águas pluviais, com vista à proteção do meio hídrico em caso de incidente industrial, em alinhamento com as Melhores Técnicas Disponíveis (MTD) definidas nos documentos de referência da EU BREF OFC (Manufacture of Organic Fine Chemicals) e CWW (Common Wastewater and Waste Gas Treatment in Chemical Sector) para a proteção das águas naturais (subterrâneas e superficiais).

O questionário é anónimo e a informação recolhida será estritamente utilizada para fins académicos.

Se surgir alguma questão contacte: i.cancela@campus.fct.unl.pt

Obrigada pela sua participação.

***Obrigatório**

1. A que setor industrial pertence? (e.g. Indústria Farmacêutica, Química, etc.) *

2. A instalação possui sistemas individuais para efluentes industrial, doméstico e água pluvial? *

Marcar apenas uma oval.

☐ Sim *Avançar para a pergunta 3*

☐ Não *Avançar para a pergunta 5*

Avançar para a pergunta 5

3. Para onde é drenada a água pluvial? *

Marcar apenas uma oval.

- ☐ Coletor Municipal de Águas Pluviais
- ☐ Meio Hídrico
- ☐ Outra: _____

4. No âmbito da sua atividade, a água pluvial escoada dentro da instalação é considerada como água contaminada? *

Marcar apenas uma oval.

- ☐ Sim *Avançar para a pergunta 6*
- ☐ Não *Avançar para a pergunta 7*

5. A água pluvial e efluentes industrial/doméstico da instalação seguem juntos para tratamento? *

Marcar apenas uma oval.

- ☐ Sim *Avançar para a pergunta 3*
- ☐ Não *Avançar para a pergunta 7*

6. A instalação tem instalado algum tipo de sistema de análise de qualidade da água pluvial drenada? (Se sim, qual?) *

Marcar apenas uma oval por linha.

Carbono Orgânico Total (COT)	Carência Química de Oxigénio (CQO)	pH	Condutividade	Turbidez
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

7. Em caso de acidente (derrame, incêndio, etc.), a instalação industrial tem algum tipo de método de desvio/contenção para reter a água contaminada proveniente desse incidente? (por exemplo, água contaminada proveniente do combate ao incêndio) *

Marcar tudo o que for aplicável.

- ☐ Não tem
 - ☐ Desvio automático (comportas de fecho automático)
 - ☐ Desvio manual (comporta de acionamento manual)
 - ☐ Desvio para tratamento interno (ETAR da instalação)
 - ☐ Desvio e contenção em bacia/tanque de emergência de águas pluviais contaminadas
-

Google Formulários